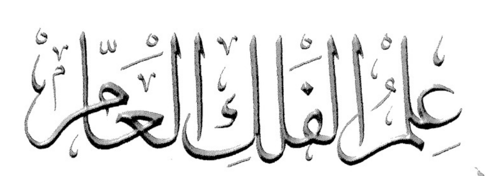


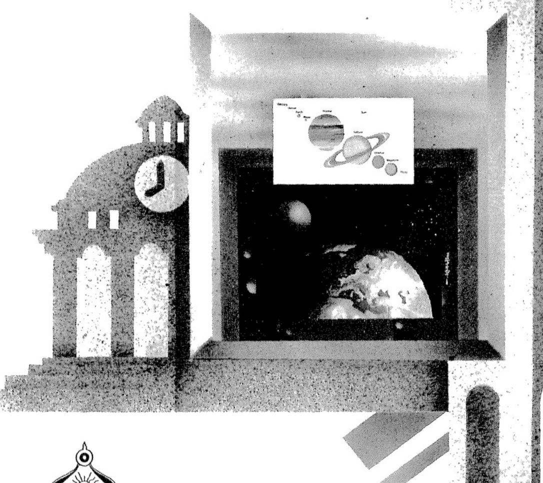
(٨)

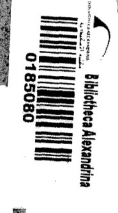


علم الفلك العام

د. مرفت السيد عوض

د. مصطفى كمال محمود







سلسلة الفكر العربي
لمراجع العلوم الأساسيّة
- ٨ -



علم الفلك العام

د. مرفت السيد عوض
أستاذ الفلك والفضاء
كلية العلوم - جامعة القاهرة

د. مصطفى كمال محمود
أستاذ مساعد الفلك والفضاء
كلية العلوم - جامعة القاهرة

الطبعة الأولى
١٤٢٠هـ - ٢٠٠٠م

ملتزم الطبع والنشر
دار الفكر العربي
٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة
ت: ٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

٥٢٠ مرفت السيد عوض.
م ر ع ل علم الفلك العام/ مرفت السيد عوض، مصطفى كمال محمود. ـ القاهرة: دار الفكر العربى، ١٩٩٩.
٣٠٤ص: إيض؛ ٢٤سم .- (سلسلة الفكر العربى لمراجع العلوم الأساسية؛ ١٤).
ببليوجرافية: ص ٣٠٣-٣٠٤.
يشتمل على معجم بالمصطلحات التى وردت بالكتاب.
يشتمل على كشاف.
تدمك: ٠- ١٢٣٢ - ١٠ - ٩٧٧.
١ - الفلك. أ- مصطفى كمال محمود، مؤلف مشارك.
ب- العنوان. جـ- السلسلة.

تصميم وإخراج فنى

محمود عجوه

رقم الإيداع	٩٩/٣٨٩٠
I. S. B. N الترقيم الدولى	977- 10 -1232-0

مطبعة المدنى المؤسسة السعودية بمصر ٦٨ شارع العباسية - القاهرة ت: ٤٨٢٧٨٥١

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم السلسلة

الحمد لله رب العالمين. . خلق الإنسان، علّمه البيان .

والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد النبى الأمى العربى الصادق الأمين، وعلى آله وصحبه والتابعين بإحسان إلى يوم الدين.

أما بعد . .

فإن اللغة ـ أىّ لغة ـ هى وسيلة التواصل الفكرى بين أبناء الأمة الواحدة، وهى فى الوقت نفسه تمثل حاجة ملحّة، وضرورة لا غنى عنها لكل أمة تشرع فى النهوض من كبوتها وتسعى إلى اللحاق بركب الحضارة، مؤمنة بالدور الأساسى للعلوم الأساسية والتطبيقية والتقنية فى صنع التقدم والرقى.

هذه الحقيقة التاريخية استوعبها علماء الحضارة العربية الإسلامية عندما ترجموا معارف السابقين إلى اللغة العربية، واستوعبها أيضا الغربيون عندما ترجموا علوم الحضارة العربية الإسلامية فى أوائل عصر النهضة الأوربية الحديثة، وتعيها اليوم كل الأمم التى تدرس العلوم بلغاتها الوطنية، فى سعى حثيث نحو المشاركة الفعالة فى إنتاج المعرفة وتشييد صرح الحضارة المعاصرة.

ولقد أضحى أمر تعريب العلم والتعليم ضرورة من ضرورات النهضة العلمية والتقنية التى تنشدها أمتنا العربية الإسلامية لكى تستأنف مسيرتها الحضارية بلغة القرآن الكريم الذى حفظها قوية حية فى النفوس على الرغم من الوهن الذى أصاب أهلها، وما ذلك إلا لأن الله سبحانه وتعالى قد خصّها بصفات تميزها على غيرها، وكفلها بحفظه حين تكفّل بحفظ قرآنه العظيم.

والحديث عن هذه الضرورة الحضارية لتعريب العلم والتعليم قد تجاوز الآن مرحلة الإقناع بالأدلة والبراهين المستقاة من حقائق التاريخ ومعطيات الواقع المعاش، وعليه أن ينتقل إلى مرحلة التخطيط والتنفيذ، وفق أسس وضمانات منهجية مدروسة، وعن طريق آليات ومؤسسات قادرة على إنجاز المشروع الحضارى الكبير. ذلك أن اجتياز حالة التخلف العلمى والتقنى التى تعيشها الأمة العربية والإسلامية يجب أن يصبح هدفا عزيزا تُستحث لأجله الهمم، وتستثار العزائم.

و**دار الفكر العربى** ـ من جانبهـا ـ قد استشعرت خطورة تأخيـر هذا المشروع الحضارى الكبير، فسعت جاهدة إلى تحقيق الهدف النبيل، وشرعت فى إعداد «**سلسلة مراجع العلوم الأساسية**» فى مجالات الكيمياء والفيزياء والرياضيات والفلك والچيولوچيا وعلوم الحياة، بحيث تخاطب قارئ العلوم فى مراحل العمر المختلفة بصورة عامة، وطلاب المرحلتين الثانوية والجامعية على وجه الخصوص، فى ضوء الأهداف الآتية:

* ربط المادة العلمية بما يدرسه الطلاب فى مناهجهم الدراسية، وعرضها على نحو يوافق التصور الإسلامى للمعرفة، ويحقق أهداف وغايات التربية الإسلامية الرشيدة.
* إثراء الثقافة العلمية لدى الطلاب والارتقاء بذوقهم العلمى مع تنمية الجانب التجريبى والتطبيقى لتعويدهم حسن الاستفادة من كل ملكات الفكر والعمل التى وهبها الله ـ سبحانه وتعالى ـ للإنسان.
* إبراز الدور الرائد الذى قام به علماء الحضارة العربية الإسلامية ـ قديما وحديثا ـ فى دفع مسيرة التقدم العلمى.
* تتبع نمو المفاهيم العلمية وصولا إلى أحدث الكشوف والمخترعات، وذلك بهدف غرس منهجية التفكير العلمى لدى الطلاب، وتوسيع مداركهم إلى أبعد من حدود الموضوعات الدراسية المقررة عليهم.
* الالتزام بما أقرته مجامع اللغة العربية من مصطلحات علمية، ويفضل أكثرها شيوعا مع ذكر المقابل الأجنبى.

وقد عهدت **دار الفكر العربى** بالمسئولية العلمية إلى هيئة استشارية تتولى التخطيط لإصدارات هذه السلسلة، واستكتاب أهل الخبرة والاختصاص من علماء الأمة ومفكريها، ومناقشة الأعمال المقدمة قبل صدورها.

﴿رَبَّنَا لا تُزِغْ قُلُوبَنَا بَعْدَ إِذْ هَدَيْتَنَا وَهَبْ لَنَا مِن لَّدُنكَ رَحْمَةً إِنَّكَ أَنتَ الْوَهَّابُ ۝٨﴾ [آل عمران].

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

أحمد فؤاد باشا

سلسلة الفكر العربى
لمراجع العلوم الاساسية

الهيئة الاستشارية

جميع المراسلات والاتصالات على العنوان التالى:

دار الفكر العربى

سلسلة الفكر العربي لمراجع العلوم الأساسية

٩٤ شارع عباس العقاد. مدينة نصر. القاهرة

ت: ٢٧٥٢٩٨٤. فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُّنِيرًا ﴾

[الفرقان : ٦١]



إلى أغلى وأجمل زهرتين فى حياتى .. رانيا وأحمد

أ.د. مرفت السيد عوض



بسم الله الرحمن الرحيم

المقدّمة

ما الفضاء بل وما الكون ، أهما فقط ما نرى من ظواهر السماء وأجرامها ، أم هما هذا الوجود الممتد حولنا حتى لنظنه بلا حدود ؟ . لقد كان هذا السؤال وما زال شغل الإنسان الشاغل قصد إليه أم لم يقصد . إن أول ما رأى الإنسان شمسًا تشرق فتضيء لتصحو الكائنات كلّ يسعى لرزق قُدر له ، لكن الشمس هذه لا يدوم لها شروق ، إنها تعبر قبة السماء فى دورة تتجدد كل يوم فتعلو على الأفق لتبلغ فى السماء ارتفاعًا قصيًا بعده تبدأ فى الهبوط لتختفى تحت الأفق من جديد فيكتسى الوجود بظلمة موحشة وسكون مهيب . وينظر الإنسان للسماء يتأملها وينظر سائر الطير وسائر الحيوان ، لكن نظرة الإنسان لم تكن يومًا كنظرة الطير أو كنظرة الحيوان ، إنه يتفكر فيما يرى ، إن الشمس لا تكاد تغيب تحت الأفق حتى تنتشر على صفحة السماء نقاط تلمع فتبدد وحشة الوجود وتكسر حدّة الظلام، بل يسطع فى معظم الأيام قمر وضىء يبهج العين. وتساءل الإنسان ما هذه الشمس ومن أين تأتى بكل هذا الضياء ومن أين لها كل هذا البهاء ؟ وما هذا القمر الذى يبدو كوصيف للشمس يستحى وتستحى معه تلك النجوم اللوامع من الظهور بجوارها ؟

لم تكن الشمس ولم يكن القمر ولا كانت تلك النجوم ، ما رآه ثابتًا منها لا يريم أو ما لاحظ له حركة وإن كانت قليلة ، هو كل ما رأى ، لقد كان يبدو فى السماء ما يشبه سحابات تضىء بضوء خافت يتغير وضعها فى السماء ، وتكاد تحتوى كل ما يرى من نجوم .

ولاحظ الإنسان فيما لاحظ ارتباطًا مباشرًا بين الشمس وما على الأرض من نبات وما يمر بها من ظروف الحياة ، يأتى ربيع تزدهر فيه الحياة فتنمو الأزهار وتغرد الأطيار وتورق الأشجار وتكثر الثمار ، ثم يأتى صيف قائظ كأن الشمس

فيه تُرِي الإنسان من قدرتها وقسوتها ما لم يكن يعلم ، ويتلو الصيف خريف تذبل فيه الحياة ويتساقط كساء الأشجار وينضب معين الثمار ، لينتهى بشتاء قارس يشتد فيه البرد هادرًا بلا رحمة حتى أن بعض الكائنات تـعتزل الحياة ببيات غريب كأنها فارقت دنيا الأحياء .

من هنا أدرك الإنسان أن ما يرى هو قطرة من كـون شاسع فسيح ، عليه أن يجوبه بالعقل وأن يسبح فيه بـالروح . من هنا كان علم الفلك من أقدم العلوم ، بل هو أقدمـها ، ومن هنا تعـددت أساطير الأولين مـحاولة سبر غـور هذا الكون الغامض المجهول .

وقد حضنا المـولى عز وجل فى العديد من آى الذكر الحكـيم على التفكر فى الكون وضرب لنا الأمثال تكرارًا على عظمة وإعجاز خلق الله فى الكون :

﴿ يَسْأَلُونَكَ عَنِ الأَهِلَّةِ قُلْ هِيَ مَوَاقِيتُ لِلنَّاسِ وَالْحَجِّ ﴾ (البقرة : ١٨٩) .

﴿ إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالأَرْضِ وَاخْتِلافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لأُوْلِي الأَلْبَابِ ﴾ (آل عمران : ١٩٠) .

﴿ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالأَرْضِ ﴾ (آل عمران : ١٩١) .

﴿ فَارْتَقِبْ يَوْمَ تَأْتِي السَّمَاءُ بِدُخَانٍ مُّبِينٍ ﴾ (الدخان : ١٠) .

﴿ وَالسَّمَاءَ بَنَيْنَاهَا بِأَيْدٍ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ ﴾ (الذاريات : ٤٧) .

﴿ يَا مَعْشَرَ الْجِنِّ وَالإِنسِ إِنِ اسْتَطَعْتُمْ أَن تَنفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَوَاتِ وَالأَرْضِ فَانفُذُوا لا تَنفُذُونَ إِلاَّ بِسُلْطَانٍ ﴾ (الرحمن : ٣٣) .

﴿ فَلا أُقْسِمُ بِمَوَاقِعِ النُّجُومِ (٧٥) وَإِنَّهُ لَقَسَمٌ لَّوْ تَعْلَمُونَ عَظِيمٌ (٧٦) ﴾ (الواقعة) .

مع كل هذا فـقد خلت المكتـبة العربيـة من كتاب مرجـعى باللغة العـربية يعرض للنواحى المختلفة لعلم الفلك الحديث ببعض من العمق . وقد حاولنا فى كتابنا هذا سد هذا النقص . ووجود هذا الكتاب يمثل أهمية كبيرة للأسباب الآتية :

أن علم الفلك متطلب جامعة فى جامعات الملك سعود والملك عبد العزيز بالمملكة العربية السعودية وجامعة الإمارات العربية المتحدة ، وجامعات البحرين والكويت .

★ أن علم الفلك يدرس فى جامعات القاهرة والأزهر ومعهد المراقبة الجوية .

★ أن بعض موضوعات الفلك (البسيطة) مقررة على المدارس الثانوية والإعدادية .

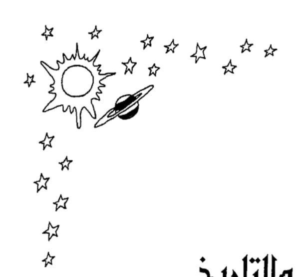
فإذا أضفنا لهذا ما هو معروف عن الإقبال الشديد على كتب الفلك يتضح مدى الحاجة لوجود كتاب عن الفلك يجمع بين اللغة السهلة والسليمة واحتوائه على الجديد فى هذا العلم .

والله الموفق والهادى إلى سواء السبيل .

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

المؤلفان

المحتويات



الفصل الأول

الفلك والتاريخ

لم يحظ علم بما حظى به الفلك من اهتمام الإنسان منذ حَطَّ على الأرض فصارت له موطنًا ولأبنائه مآلا . فقد كان النظر للسماء يولد عنده رهبة مما تُخفى ورغبة فى استجلاء أسرار ما تبديه . أدى هذا إلى ترسيخ تاريخ للفلك طويل ، اختلط فيه الواقع بالخرافة ، والحقيقة بالأسطورة ، والإدراك الواعى بالبدائية والسذاجة . وقد جاءت تسميتنا لهذا الفصل قصدًا لإيضاح أنا إنما نعرض لطرف من هذا التاريخ الطويل دونما خوض فى تفاصيل هذا التاريخ أو إدعاء الإلمام بكل أطرافه .

وكلما أثير موضوع تاريخ العلوم ودراسته برز من يقول : لم هذا الانشغال بتاريخ للعلوم مضى ؟ ، ألم نستخلص منها المفيد لنؤسس عليه ما نطور منها أو لنلقى بعضًا من ضوء على جوانب من العلم قد تكون خفيت علينا ؟ إلا أن هذا القول مردود عليه بأنه لو كان صحيحًا لتوجب مسح كل ما يتصل من التاريخ بحقبة تقادمت وانقضى عهدها ومضى زمانها ، وفى هذا يقول الشاعر :

ليس بإنسان ولا عاقل	من لا يعى التاريخ فى صدره
ومن درس أخبار من قبله	أضاف أعمارًا إلى عمره

١ - ١ الفلك فى مصر القديمة :

(أ) التداخل مع العقيدة الدينية :

لم تتأصل الديانة فى أمة وتمتزج بحياة أهلها كما تأصلت فى الأمة المصرية وامتزجت بكل مظاهر الحياة فيها كما بدا هذا جليا فى كل مظاهر الحضارة المصرية القديمة . لذا كرس كهنة مصر القديمة حياتهم للعلم ودراسة ظواهر الطبيعة المختلفة .

كان المصريون القدماء يؤمنون بإله واحد سرمدى لم يولد ولم يُخْلَق فكل ما خُلق فى اعتقادهم غير كامل وأنه كما خُلق فهو إلى فناء ، إلا أنهم اتخذوا من بعض أجرام السماء آلهة ثانوية أو رموزًا لمعانٍ آمنوا بها أو معانٍ مقتوها . ومن أهم الأمثلة فى هذا المجال كانت الشمس (رع أو أوزيريس) مصدر القوة

والنماء، أما « ست » (رمز الشر عندهم) فهو سبب الزلازل والصواعق والكسوف والخسوف وغيرها من الظواهر الطبيعية عنيفة الأثر .

وكان من آرائهم الفلسفية فى هذا الصدد أن الزمن مكون من الماضى والحاضر والمستقبل ، وهى جميعها متداخلة ، فمن الماضى يشتق الحاضر ومن الحاضر يأتى المستقبل . وتلك المفاهيم على بساطتها شديدة الأهمية ، وكما سنوضح فى فصول قادمة ، فإننا نرى ماضى الكون قريبه وبعيده مسطوراً على صفحة السماء .

(ب) الأرصاد الفلكية والتقويم :

اهتم قدماء المصريين منذ فجر التاريخ برصد الأجرام السماوية ودراسة حركاتها على صفحة السماء ، ويؤكد بعض المؤرخين أنهم بلغوا فى هذا شأنا لا يتسامى إليه أى من معاصريهم وكان من دلائل هذا الاهتمام ونتائجه :

١ - إطلاق أسماء خاصة على الكوكبات (مجموعات النجوم التى نرى فى السماء) ورمزوا لها وللكواكب برموز مديريات القطر ومدنه ، مثال ذلك :

الكوكبة	الرمز	الكوكب	الرمز
الدلو	جزيرة الألفنتين	المريخ	أبولونوبوليس
	المقابلة لأسوان		(إدفو حاليًا)
الحوت	إسنا	المشترى	أرمنت
الحمل	طيبة	الزهرة	دندرة

وقد كانوا يرمزون للشمس بدائرة فى وسطها نقطة (وهو الرمز المستخدم حاليا) أو بقرص ذى أجنحة ، كذلك اهتموا كثيرًا بنجم الشعرى اليمانية وأوقات شروقها وكذلك الزهرة وأسموها هاتور .

٢ - اتخذوا السنة النجمية وحدة لقياس الزمن ، وبلغ من دقة قياسهم أن قدروها بما يعادل $\frac{1}{4}$٣٦٥ يوما فقسموها إلى ١٢ شهرًا بكل شهر ٣٠ يوما يضاف لها ٥ أيام تسمى أيام النسىء تقام فيها أعيادهم .



٣ - استخدموا فى تقرير طول السنة ظاهرة الشروق الاحتراقى(*) لنجم الشعرى اليمانية أى رؤية هذا النجم مباشرة قبيل شروق الشمس ، ومما يجدر ذكره أنه فى الوقت الذى أسس فيه قدماء المصريين هذا التقويم الفلكى المحكم نجد معاصريهم من الرومانيين واليونانيين والآشوريين يسعون بلا طائل لربط أوائل الشهور القمرية بأوائل الشهور المدنية .

٤ - ارتباط اتجاهات مبانيهم الأثرية المختلفة بالجهات الرئيسية الأربع وبمستوى الزوال وأوقات شروق الشمس فى مواسم معينة .

٥ - من الأمور الهامة الأخرى أن سقف معبد دندرة وجدرانه محلاة بنقوش تمثل صور البروج ، وبيان ساعات الليل والنهار وأوجه القمر ومسار الشمس بين النجوم . ويلفت النظر بشدة أنهم رمزوا للزهرة بقرص ذى قرنين يشبه المرآة وتسقط عليه أشعة الشمس ، مما يمكن أن يفسر بإدراكهم لتبعية الزهرة للشمس واحتمال توصلهم لرصد الوجه الهلالى للزهرة .

٦ - صمموا مزاول شمسية شديدة الدقة لقياس الزمن .

(جـ) ما انتقل إلى اليونانيين :

نقل اليونانيون الكثير من علوم مصر القديمة ، نذكر منها فى مجال الفلك:

١ - خيط الرصاص لتعيين المستويات الرأسية .

٢ - طرق تعيين الزمن نهارًا (مثل المسلات) .

٣ - الساعات المائية لتعيين الزمن ليلاً .

٤ - نظرية تكور العالم .

٥ - البروج المحيطة بمسار الشمس الظاهرى بين النجوم .

٦ - أن النجوم ملتهبة وأن الشعرى اليمانية مثلها مثل الشمس .

٧ - أن حركة الشمس والقمر والكواكب عكس الحركة اليومية للأجرام السماوية .

(*) Helical rising



٨ - أن الشمس والقمر كرويان .

٩ - طريقة قياس القطر الزاوى للشمس والقمر .

١٠ - أن القمر أرض خلاء .

١١ - أن القمر يضىء بواسطة ضوء الشمس .

١٢ - أسباب ظاهرتى الكسوف والخسوف والتنبؤ بهما .

١٣ - حساب اليوم بدءًا من منتصف الليل حتى منتصف اليوم التالى .

١٤ - كروية الأرض وقياس نصف قطرها .

١٥ - تعيين الأوقات لعطارد والزهرة كنجمى صباح أو مساء .

(د) مدرسة الإسكندرية :

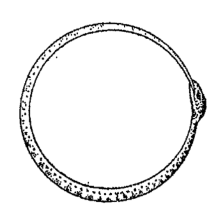
ضمت مدرسة الإسكندرية مرصدًا لرصد أجرام السماء ساهم فى جعل الإسكندرية فى ذلك الوقت قبلة العلماء من الفلكيين والرياضيين . وقد أدى هذا لأن يكون كل الفلكيين المتميزين لمدة خمسة قرون متصلة من علماء مدرسة الإسكندرية ، فيما عدا العالم اليونانى الشهير « هيباركس » . ومن أهم إنجازات هذه المدرسة :

١ - كان عالم مدرسة الإسكندرية الشهير « إرستاركس » يعتقد بكروية الأرض ، وهو ما لم يثبت بالبرهان العلمى الصحيح ، إلا فى القرن السادس عشر. كما ابتكر طريقة لتعيين الأحجام النسبية للأرض والقمر والشمس . كذلك كان أول من اكتشف أن الشمس هى مركز الكون وليست الأرض . وكذلك أدى عدم مقدرته على تعيين التغير فى اتجاه النجوم إلى استنتاج أنها تقع على مسافات بعيدة جدا.

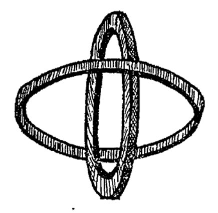
٢ - كان « نيما خاريس » و « أرستيلاس » أول من قاسا مواقع النجوم وقاما بإجراء أرصاد دقيقة .

٣ - استخدم العالم المصرى « بطليموس » الأرصاد السابقة فى تحقيق الظواهر الفلكية وله مؤلف فلكى شهير يسمى « المجسطى » .

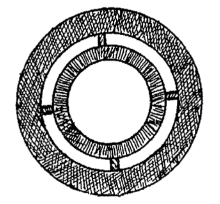
٤ - قام « إراتوثـنيس » وهو أحد أعـلام مدرسة الإسكـندرية بقيـاس قطر الأرض بطريقة علـمية صحيحة ، وذلك بـقياس اتجاه ميل الشـمس على الاتجاه الرأسى بالإسكندرية عند الانقلاب الصيـفى حيث تكون فى سمت الرأس فى بلدة « سيين » بالقـرب من أسوان . كذلك قدر زاوية ميل الدائرة الكسـوفية على دائرة استواء الأرض بخطأ لم يتعد ٧ دقائق قوسية .



شكل (١) الثعبان رمز الأبدية وكروية الأرض



شكل (٢) آلة فلكية من عهد مدرسة الإسكندرية تثبت الدائرة الأفقية موازية لخط الاستواء والرأسية فى مستوى خط الزوال .



شكل (٣) آلة فلكية من عهد مدرسة الإسكندرية توضع فى مستوى الزوال لتعيين ارتفاع الشمس فى منتصف النهار .



١-٢ الفلك فى الصين :

كان للصينيين إسهام كبير فى فروع مختلفة من علم الفلك نذكر منها الآتى:

١ - أسسوا تقويمًا فى وقت مبكر قد يرجع لأحد القرنين ١٤ أو ١٣ قبل الميلاد . وهناك أقوال بأنهم قاسوا طول السنة بما يناهز $\frac{1}{4}$ ٣٦٥ يوما فى القرن ١٢ قبل الميلاد .

٢ - أعد الفلكى « شيه شن » قائمة تضم حوالى ٨٠٠ نجم . كما أعدوا سجلات للمذنبات والشهب والنيازك بدءًا من سنة ٧٠٠ قبل الميلاد .

٣ - سجلوا البقع الشمسية المرئية بالعين المجردة وكذلك ما أسموه «النجوم الزائرة» وهى كما يتضح من وصفهم أنها ما نسميه الآن النجوم البراقة (النوفا) . وأشهر ما سجلوه من تلك النجوم كان للنوفا الكبرى فى كوكبة «الثور» سنة ١٠٥٤ بعد الميلاد ويعتقد أن سديم السرطان يمثل أحد مخلفات ذلك الانفجار الكونى الكبير.

١-٣ الفلك فى بابل وآشور:

كان اهتمام البابليين والآشوريين بالفلك يرجع إلى عبادتهم للكواكب ، لذا فقد انصب اهتمامهم على ما يخدم هذا الاتجاه . ويمكن إيجاز إنجازاتهم فى الآتى :

١ - عرفوا الطول التقريبى للسنة قبل الميلاد بعدة قرون .

٢ - استخدموا تقويمًا قمريا من ١٢ شهرًا . وحيث إن طول الشهر القمرى حوالى $\frac{1}{2}$ ٢٩ يوم . فإن طول السنة القمرية حوالى ٣٥٤ يوما ، وهو ما يقل عن طول السنة الشمسية بحوالى ١١ يوما ، لذا كانوا يضيفون شهرًا ثالث عشر من وقت لآخر لتصحيح هذا الفارق .

٣ - صنعوا مزاول شمسية دقيقة لقياس الزمن .

وقد تسببت عبادتهم للكواكب فى خلط معيب بين الفلك والتنجيم لاعتقادهم فى تأثير تحركات الآلهة الكواكب على أحوال سائر الكائنات .

١ - ٤ الفلك عند الإغريق :

لم يهتم علماء اليونان كثيرًا بأخذ الأرصاد الفلكية ، وإنما استخدموا أرصاد المصريين القدماء والآشوريين فى تحقيق نظرياتهم عن الكون وحركة الأجرام السماوية، وقد كان هذا يتمشى تمامًا مع ميلهم للتجديد والتحليل الذهبى . ويمكن تقسيم تاريخ الفلك عند الإغريق إلى مرحلتين : أولاهما بدأت حوالى سنة ٦٠٠٠ قبل الميلاد وحتى سنة ٣٠٠ قبل الميلاد قبل بزوغ نجم مدرسة الإسكندرية .

(أ) المرحلة المبكرة :

يمكن تلخيص إنجازات تلك الفترة فى النقاط التالية :

١ - إذا تأملنا السماء فى ليلة صافية نستطيع تبين الاتجاهات النسبية للأجرام السماوية ، لكننا لا نستطيع أبدًا بمجرد النظر تعيين بعد أى منها . ولتعيين تلك الاتجاهات يكفى أن ندرس مواقع تقاطع الخطوط التى تصل بيننا وبين تلك الأجرام مع كرة (وهمية) كبيرة نسميها الكرة السماوية .

وقد ابتكر الإغريق مفهوم الكرة السماوية هذا ، لكنهم ظنوها كرة حقيقية من مادة بلورية تحتوى بداخلها النجوم كقطع دقيقة من المجوهرات .

٢ - فسروا ظواهر الشروق والغروب باختفاء نصف الكرة السماوية تحت الأفق ، إلا أنهم اعتبروا أن الكرة السماوية هى التى تدور فتسبب ظواهر الشروق والغروب وليست الأرض .

٣ - كانوا يدركون وجود النجوم فوق الأفق نهارًا ، وأن ضوء الشمس هو الذى يحجبها .

٤ - كانوا يعلمون مثلهم مثل المصريين والبابليين الحركة السنوية للشمس والتى يتغير اتجاهها تبعًا لها بحوالى درجة كل يوم تجاه الشرق .

٥ - قدروا ميل الدائرة الكسوفية على دائرة الاستواء بدقة كبيرة .

٦ - فرقوا بين النجوم والكواكب وقد كانوا يعرفون منها (عطارد ، الزهرة، المريخ ، المشترى ، زحل) لكنهم اعتبروا الشمس والقمر بين هذه الكواكب .

٧ – تعرفوا على كثير من الكوكبات وأسموها بأسماء الحيوانات التى عايشوها .

٨ – كانوا يعتقدون بكروية الأرض .

(ب) المرحلة المتأخرة :

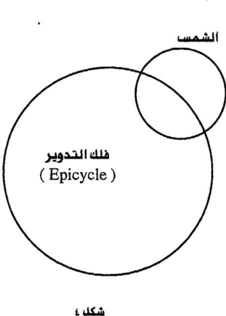
كان كل علماء تلك الفترة من علماء مدرسة الإسكندرية ، لكن برز فى تلك الفترة عالم إغريقى هو « هيباركس » كانت له إنجازات كبيرة متنوعة . ويمكن تلخيص منجزات تلك المرحلة فى :

١ – إقامة مرصد فى جزيرة رودس زوِّد بأجهزة أمكن باستخدامها إجراء أرصاد دقيقة قدر الإمكان لمواقع أجرام السماء المختلفة .

٢ – عمل جداول تضمنت حوالى ٨٥٠ نجمًا ومواقعها على الكرة السماوية .

٣ – بمقارنة اتجاهات قطب الكرة السماوية القديمة بما حصل عليه «هيباركس » توصل إلى ظاهرة ترنح هذا القطب حيث يرسم امتداد محور دوران الأرض دائرة صغرى على الكرة السماوية تكتمل كل ٢٦٠٠٠ سنة .

٤ – ابتكر نظام قياس درجة لمعان النجوم بأقدار بحيث يكون ألمعها من القدر واحد، وأخفت ما يمكن أن تراه العين فى ليلة صافية من القدر السادس .



شكل ٤

٥ – باستخدام طريقة « أرستاركس » تمكن هيباركس من تعيين حجم القمر وبعده حيث لم يتعدى الخطأ فى تعيين بُعْد القمر عن نصف قطر الأرض .

٦ – قدر طول السنة بخطأ فى حدود ٦ دقائق .

٧ – لاحظ هيباركس عدم انتظام سرعة الشمس فى حركتها السنوية ، لذا

افترض أنهـا تتحرك فى دائرة تقع الأرض بعيـدًا عن مركزها بقدر يسـير . كذلك اقترح فكرة فلك التدوير وهى فكرة تعود إلى الـفلكى بطليموس من علماء مدرسة الإسكندرية ، ومـؤداها أن الشمس تدور فى دائرة يتـحرك مركزها فى دائـرة أكبر حول الأرض . كما هو موضح فى شكل (٤) .

١ - ٥ الفلك عند العرب والمسلمين :

كان العرب يسـمون علم الفلك بأسماء مـتعددة أشهرها « علم الـهيئة » ، ولحاجة أهل البادية لمـعرفة مواقع النجوم ومواقيت شروقها وغـروبها فقد اهتموا بعلـم الهيئـة . وورد الكثيـر من أسمـاء النجوم والكـوكبات فى أشـعار ما قـبل الإسلام. وقد تعدى ما ذكـر منها مائتين وخمسين . وكذلك عـرفوا منازل القمر وكثر ذكرها فى كتبهم .

أما فى العصر الإسلامـى فقد تطورت المفاهيم الفلكية بـدرجة كبيرة وكان للمسلمين إنجازات كبيرة جـدًا فى كل مناحى علم الفلك ، وكان لهم العديد من العلماء الأفذاذ سواء فى الفلك أو فى سائر العلوم وكذلك فى الفلسفة .

وتتجلى شدة اهتمام العرب والمسلمين بالفلك بتعدد ذكرالظواهرالفلكية فى أشعارهم ، نذكر منها وصف أبى الفضل الميكالى لاستتار الزهرة خلف القمر :

أمـا ترى الزهرة قـد لاحت لـنا   تحت هلال لونه يحكى الذهب
كـكـرة مـن فـضـة مـجـلـوة   أوفى عليها صولجان من ذهب

أما ابن شبل البغدادى فقال متحيرًا فى حركة أجرام السماء :

بـربك أيـهـا الفـلـك الـمـدار   أقـصد ذا الـمسـير أم اضـطـرار
مـسـارك قل لـنا فـى أى شيء   فـفى أفـهـامـنا مـنك انـبـهـار

وسنكـتفى هنـا بوصف مخـتصـر لأحد أهم الأجـهزة الفلـكية التـى أجاد المسلمون صنعها واستخدامها .

الأسطرلاب : (Astrolabe)

كلمة يونـانية معناها « مـرآة النجوم » أطلقت على جـهاز استخدمـه علماء الفلك فى أشـكال مختلفـة ، منها : الكروى والمـستوى والخطى بحـسب ما إذا

كانت تمثل الكرة « القبة السماوية » ذاتها أو مسقط « الكرة السماوية » على سطح مستو ، أو مسقط هذا السطح على خط مستقيم . ويستخدم الأسطرلاب فى قياس اتجاهات الرياح وسرعاتها وتحديد الليل والنهار ومواقع النجوم وتحركاتها . وكان أكثر الأنواع شهرة الأسطرلاب المستوى « المسطح » ويمثل مسقط الكرة السماوية على سطح مستو . ويسمى بالعربية « ذات الصفائح » لكونه عبارة عن قرص من النحاس أو البرونز بقطر يصل إلى (٢٥) سنتيمترًا له عروة للتعليق تحفظه فى وضع رأسى كما هو موضح بالشكل (٥) . ويتركب من :

الحلقة : وتسمى العلاقة ، وهى التى يعلق بها الأسطرلاب لأخذ الارتفاع والرصد.

العروة : وهى المتصلة بالحلقة والكرسى .

الكرسى : وهو ما بين العروة وآخر الأسطرلاب .

الأم : وهى الصفيحة الكبرى ذات الطوق الجامعة للصفائح .

الصفائح : وهى أقراص مستديرة ، وعددها يختلف فى كل أسطرلاب من ثلاث إلى أكثر من عشر صفائح ، وهى مثلومة من جانبها لتثبت فى نتوء خاص داخل قرص مستدير من المعدن ، مقسم إلى ٣٦٠ درجة ومنقوش عليه أطوال وعروض بعض المدن والأماكن الهامة ، ويسمى سطحه الداخلى « الوجه » بينما يسمى سطحه الخارجى « الظهر » .

العنكبوت : وهو الشبكة ذات الثقوب والنتوءات التى تعين بعض الكواكب والنجوم، وفيها عتبة لتحريكها .

العضادة : أو المسطرة وهى الساق المتحركة على ظهر الأسطرلاب ، ويؤخذ بها ارتفاع الشمس بالنهار والنجوم بالليل ، كما يعين بها بعض الأبعاد والمرتفعات الأرضية.

المحور : وهو القطب الممسك للصفائح والعنكبوت من ثقوب فى مراكزها.

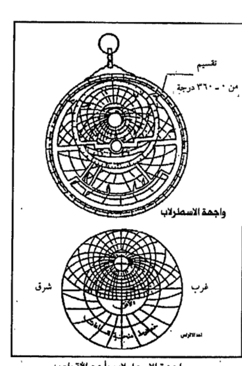
الفرس : أو الحصان ، وهو الداخل من القطب الممسك ، له ويذكر

البيرونى أنه ألّف رسائل هامة فى « الأسـطرلاب » وضع فى إحداها نظرية بسيطة لقياس محيط الأرض بدقة لا تختلف عن القيـمة المعروفة حاليًا . وهناك مؤلفات أخرى عديدة فى الأسطرلاب للكندى والمروزى والزرقانى والمجريطى وغيرهم .

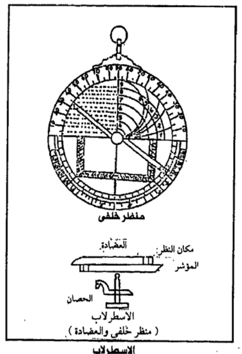
وقـد شاع اسـتعـمال « الأسطـرلاب » فى أوروبا فـى القرن الـرابع عشـر الميلادى . لكنـه ظل مستخدمًا فى البـلاد العربية والإسلامية حتـى القرن التاسع عشر الميلادى .

وإلى جانب الأسطرلابات والساعات الشمسية والمائية كان هناك آلات رصد وقياس أخرى منها : ذات السـمت والارتفاع ، والأرباع (ربع الأسطرلاب ، ربع الدائرة ، ربـع الزرقالة ، الـربع الجامـع ، الربع التـام ، الربع الكامـل ، الربع الشمالى ، . .) وبيـت الإبرة (البوصلة) ، والبندول أو الرقاص الذى اكـتشفه ابن يونس واستخـدمه فى مرصده لمعرفـة المدد الزمنية فى رصد النـجوم ، كما استخدمه فى الساعات الدقاقة ، وكان ذلك قبل جاليليو بنحو ستمائة عام .

وقد اهتم كثير من العلماء المسلمـين بعلم الفلك وسنعرض ملخصا لأعمال أربعة من أبرز علماء الفلك المسلمين .



واجهة الاسطرلاب وأحد الأقراص



الاسطرلاب
(منظر خلفي والعضادة)

شكل (٥)



البتانى

هو أبو عبد الله محمد بن جابر بن سنان البتانى ولد عام ٢٤٠ هـ . فى العراق فى بلدة بتان وكانت وفاته عام ٣١٧ هـ . وكان من أهم أعماله أنه أنشأ مرصدًا عُرف باسمه فى أنطاكية بسوريا وألف جداول تبين حركات النجوم والكواكب ومنها يمكن حساب التقويم .

وطور الآلات الفلكية المستخدمة فى المرصد ودرس أبعد نقطة بين الشمس والأرض ، وبالتالى حسب طول السنة الشمسية وكانت تختلف بمقدار دقيقتين و٢٢ ثانية ، وحسب ميل دائرة البروج على دوران الأرض وكانت تختلف بمقدار ٤ دقائق ، واستنتج أن معادلة الزمن تختلف على مر الأجيال وأول من استخدم حساب المثلثات فى خدمة الفلك واستخدم المثلث المتساوى لمعرفة ارتفاع الشمس فى مكان ما وصاحب الزيج (جدول فلكى) الصابئ وقد ترجمت مؤلفاته للغات أوروبية عديدة .

ابن يونس المصرى

هو على بن عبد الرحمن بن يونس الصدفى المصرى . ولد بمصر عام ٣٤١ هـ وتوفى بها عام ٣٩٩ هـ . وكان من أهم إنجازاته أن ألَّف زيجًا كبيرًا فى أربعة أجزاء سماه « الزيج الحاكمى » وضم فيه جميع قرانات الكواكب ورصد كسوف الشمس وخسوف القمر عام ٣٦٨ هـ وصحح ميل دائرة البروج وزاوية اختلاف المنظر للشمس ومبادرة الاعتدالية ، وقد اكتشف علم اللوغاريتم واخترع الرقاص (البندول) لمعرفة الوقت أثناء رصد الكواكب وقد عرفه المسلمون باسم الموار .

البيرونى

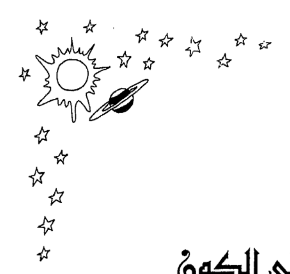
هو أبو ريحان محمد بن أحمد البيرونى ولد بضاحية من ضواحى خوارزم عام (٣٥١هـ - ٩٧٣ م) وتوفى سنة (٤٤٠ هـ - ١٠٤٨ م) وقد كان فلكيًا مرموقًا وعالمًا جليلاً . وقد تنقل بين العواصم العربية وعاش فى الهند فترة كبيرة، وقد ألف كتابًا يعتبر موسوعة فى الهيئة والنجوم يحتوى ١٤٣ بابًا ، وبرهن حقائق علمية عن مساحة الأرض ونسبتها للقمر وعن الشمس وأنها مركز الكون



الأرضى وبعد الشمس عن القمر وأبعاد الكواكب عن بعضها وحسب مقدار التغير الذى يحدث لأبعد نقطة للشمس عن الأرض بناءً على أربعة أرصاد بواسطة الحساب التفاضلى ، وكان أول من فكر فى علم الجاذبية وحسب الوزن النوعى لثمانية عشر عنصراً وحسب مساحة المثلث بدلالة أضلاعه ، وقسم الزاوية إلى ثلاثة أقسام بدون مسطرة وفرجار ، وشرح ظاهرة الشفق وحدد اتجاه القبلة وأثبت أن سرعة الضوء تفوق سرعة الصوت ، وحسب نصف قطر الأرض ومحيطها . وقد طبعت أكاديمية العلوم السوفيتية كتابًا باسم البيرونى وكذلك فعلت الهند .

ابن الشاطر

هو أبو الحسن علاء الدين على إبراهيم بن محمد الأنصارى ، ولد بمدينة دمشق سنة ١٣٠٤ هـ وتوفى سنة ١٣٧٥ هـ ، ودرس الفلك والرياضيات إلا أنه خصص نشاطه فى مجال الفلك ، وقد قضى معظم حياته فى وظيفة التوقيت ورئاسة المؤذنين فى المسجد الأموى بدمشق ، ومن أبرز أعماله فى مجال الفلك أنه قاس زاوية انحراف دائرة البروج وكانت بدقة أكثر من البتانى حيث كان الفرق ١٩,٨ ثانية فقط ، وألف زيجًا قدم فيه نماذج فلكية قائمة على التجارب والمشاهدة والاستنتاج ، وله ابتكارات فى صناعة الأسطرلاب وتصحيح المزولة الشمسية ، وصنع آلة لضبط وقت الصلاة سماها البسيط وفهم الحركة داخل المجموعة الشمسية بصورة صحيحة .



الفصل الثانى

إطلالة على الكون

عندما نبعد عن المدينة وصخب أنوارها الصناعية ثم نرنو للسماء فى ليلة صافية انجلت عن صفحة سمائها السحب وانقشعت الغيوم ، نرى النجوم تتلألأ بضياء مهيب ، فإذا أمعنا النظر لا نجد تلك النجوم وحيدة فى هذا الفضاء الفسيح بل نجد سحبًا من الضياء ، كما نجد ما يشبه النجوم من أجرام قد تكون أكثر لمعانًا لكنها تنتقل على صفحة السماء من يوم لآخر ، قد نرى مشاعل من نور تمرق فى السماء متجهة إلى الأرض ، إلا أنها نادرًا ما تصل وغالبًا ما تتلاشى قبل أن تنال من الأرض قليلاً أو كثيرا . وقد يخطر لنا أن نستعين بمنظار علَّه يفسر لنا بعضًا مما تبدى السماء من غموض ، ولو قد فعلنا لعجزنا عن مداراة ما نشعر به من انبهار مما تبدى السماء ونفكر فيما تخفى هذا التعدد والتنوع الكبيرين فيما تبدى السماء يوجب علينا أن نبدأ بإطلالة على الكون من بعيد نوجز فيها ما عرفنا مما يضم هذا الكون الغامض المهيب من أجرام ما زال كنه بعضها يستعصى على الفهم ويتحدى الإدراك .

٢-١ الفلك والحياة :

للفلك فى حياة الإنسان أهمية كبيرة قد لا يبدو للإنسان العادى منها أكثر من الفوائد المباشرة للأجرام السماوية ، فالقمر والنجوم تبدد حلكة الظلمة أثناء الليل ، أما الشمس فهل بدونها تكون حياة . يمثل هذا دورًا هامًّا للفلك لا يمكن إنكاره ، إلا أن للفلك أدوارًا أخرى شديدة الأهمية والتأثير نوجز منها :

١ - **تعريف وضبط نظم الإحداثيات الأرضية والسماوية :** بما يمكن من تحديد الموقع على الأرض أو فى الفضاء .

٢ - **ضبط الزمن :** كان أول ما خطر للإنسان لضبط أمور حياته أن عرف اليوم بطول يقاس بدورة كاملة للأرض حول محورها بالنسبة للشمس . وبذلك يوائم بين حياته وبين قدوم الليل وبزوغ النهار ، ثم عرف السنة بدورة الأرض فى حركتها حول الشمس (أو بحركة الشمس الظاهرية كما رآها) وبذلك أمكنه ضبط شئون زراعته وغيرها تبعًا للمواسم المختلفة . ودوران الأرض حول محورها أو حول الشمس ما هى إلا ظواهر فلكية شغلت الفلكيين وما زالت وستظل ما دامت على الأرض حياة وبتطور علم الفلك تطورت دقة قياس الزمن وظهرت نظم أكثر



دقة للتقويم وصنعت ساعات دقيقة وصلت للساعة الذرية التى أمكن بواسطتها قياس الزمن بدقة تصل إلى ١٠ -١٣ من الثانية . وقد يظن البعض أن صنع مثل تلك الساعات الدقيقة يلغى دور الفلك فى ضبط الزمن ، إلا أن العكس هو الصحيح ، فالمطلوب ليس مجرد قياس الفترات الزمنية ، بل ضبطها تبعًا لشئون الحياة ، ولذلك ونتيجة لعدم ثبات طول اليوم لاختلاف حركة الأرض حول محورها بتأثير المد والجزر وزحف القارات ، فقد ابتكرت الثانية الكبيسة والتى أضيف منها ثانية كل سنة ابتداء من سنة ١٩٧٢ م .

٣ - **الملاحة** : فى البحر والجو وفى الفضاء والترحال عبر الصحارى الشاسعة التى تخلو من أى ملامح يستدل بها على موقع المسافر . وفى كل هذه الحالات يستخدم قياس ارتفاع الشمس نهارًا والنجوم ليلاً للاستدلال على الموقع الجغرافى . وللنجم القطبى أهمية خاصة فى هذا المجال حيث يساوى ارتفاعه (تقريبًا) عرض المكان .

٤ - كان للفلك ، وما زال ، دور حيوى **فى دفع علوم أساسية أخرى للتطور** ، وقد أدى دأب العلماء على حل مشاكل الحركة فى المجموعة الشمسية وفهم أسرارها إلى ثورات متتالية فى علوم الميكانيكا والمعادلات التفاضلية والتحليل الرياضى والعددى ، بل إن بعض فروع الرياضيات البحتة مثل «التوبولوجى» بدأها عالم الميكانيكا السماوية الفرنسى الشهير « هنرى بوانكاريه » لتفسير بعض خصائص حركة الأجرام السماوية التى لم يمكن حل معادلاتها حتى الآن (وأبسطها وأشهرها مسألة حركة الأجسام الثلاثة) . كذلك توفر النجوم وغيرها من أجرام السماء معامل هائلة لا يمكن توفير مثيل لها على الأرض ، وفى أحد هذه المعامل وهو الشمس اكتشف غاز « الهليوم » ولتفسير وجوده توصل العلماء لاكتشاف التفاعلات النووية الاندماجية ليس هذا فقط ، بل إن حرص الإنسان على البحث عن جيران له فى السماء دفعه لمحاولة دفع بعض دراسات علوم الحياة بصورة تسمح بالكشف عن صور للحياة قد توجد فى أرجاء أخرى من كوننا الفسيح .

٥- كان للفلك وما زال **الدور الأساسى فى نشوء «علوم الفضاء»** وتطورها ،

فلولا أبحاث حركة القمر والكواكب العميقة التى جرت منذ أواخر القرن الماضى لما أمكن إطلاق أول قمر صناعى فى سنة ١٩٥٧ م ، ولولا الدراسات المسهبة للوسط ما بين الكواكب لما قدر النجاح لأى رحلة فضائية . وبذلك فإن الإنسان يدين لعلم الفلك بكل ما ينعم به الآن كنتيجة للاستخدامات المختلفة للفضاء .

٦ - يتابع الفلكيون دائمًا بواسطة مناظيرهم المختلفة كل الأجرام السماوية ومنها ما يقترب من الأرض من أجسام هائمة فى الفضاء ، مثلما حدث منذ فترة من اقتراب وتحطم المذنب « شوميكر ليفى » . وبهذه المتابعة يمكن توقع أى أخطار قد تتعرض لها الأرض ومحاولة منعها أو الإقلال من آثارها .

٧ ـ أدت الدراسات الفلكية لتفسير الظواهر الفلكية المختلفة والاستفادة منها بدلاً من الرعب والخرافات التى كانت تصاحب ظواهر الخسوف والكسوف أو اقتراب مذنب من الأرض .

٢-٢ أجرام السماء Heavenly bodies

برغم أن علم الفلك يحظى باهتمام يجعل الجميع يحاولون معرفة ولو بعض المعلومات ، إلا أن تطوره السريع الذى لا يتوقف يجعل بعض ما يستجد يغيب حينًا عن متابعيه حتى المتخصصين منهم . ومن ثم يصبح من المفيد البدء باستعراض أجرام السماء الأساسية بإيجاز شديد .

(i) جيراننا فى أسرة الشمس :

تضم أسرة الشمس كواكب تسعة هى بترتيب بعدها عن الشمس (عطارد ، الزهرة، الأرض ، المريخ ، المشترى ، زحل ، يورانوس ، نبتون ، بلوتو) ويتوقع علماء الميكانيكا السماوية وجود كوكب عاشر لم يكتشف بعد يسمى كوكب X . يدور حول هذه الكواكب (عدا عطارد والزهرة) توابع تسمى بالأقمار يختلف عددها اختلافًا بينًا من كوكب لآخر وهى تدور فى مدارات أكثر استطالة .

وبالإضافة للأقمار ، فإنه تحيط بالكواكب العظمى (المشترى ، زحل ، يورانوس ، نبتون) حلقات من حصى كبير أو صغير يختلف عددها من كوكب

لآخر . وتدور الكواكب حول الشمس فى مدارات شبه دائرية . وحيث إن مدارى عطارد والزهرة يقعان داخل مدار الأرض فإنهما يقتربان للأرض بأكثر من اقترابها للشمس فيصل بعد الزهرة عن الأرض فى بعض الأحيان إلى ما لا يزيد عن ١٠٠ مرة قدر بعد القمر ، أما الكواكب الستة الأخرى فتدور خارج مدار الأرض . وأكبر الكواكب هو المشترى ويصل قطره حوالى ١٠ مرات قدر قطر الأرض لكنه لا يتعدى $\frac{١}{١٠}$ قطر الشمس .

بالإضافة للكواكب والأقمار تدور حول الشمس فى مدارات شديدة الاستطالة ، أجسام مازالت غامضة هى الشهب ، كما أن المنطقة ما بين مدارى المريخ والمشترى مأهولة بكتل صلبة من أحجار لا يتعدى قطر أكبرها حوالى ١٠٠ كم ، تسمى بالكويكبات يرجح أن تكون بواقى حطام كوكب كان إلى عهد قريب (حوالى ٥ مليون سنة) يشغل مداراً فى تلك المنطقة وإن وجدت نظرية تقول بأن الكويكبات (التى تتداخل مع مدار المشترى) تنتمى إلى مادة المشترى نفسه . وتلك الكويكبات هى مصدر الشهب التى نراها تمرق متوهجة فى سماء الأرض من وقت لآخر ، وما يكبرها بكتلة تسمح بتبقى بعضها دون أن يحترق فى الجو فترتطم بسطح الأرض فيما يسمى بالنيازك .

كل ما سبق أجسام صلبة معتمة تضىء بانعكاس ضوء الشمس عليها . أما الشمس نفسها فهى نجم غازى متوهج بتفاعلات نووية تسود باطنه ونشاط إلكترونى وأيونى ومغناطيسى لا يهدأ فى سطحها وجوها . وهى بين النجوم نجم لا يزال فى طور الشباب وهى نجم متوسط فى كل شىء ، وتصل درجة حرارة سطحها لحوالى ٦٠٠٠ درجة مئوية أما باطنها فيمور بحرارة تبلغ حوالى ٢٠ مليون درجة .

أما أقرب النجوم إلينا بعد الشمس فيبعد حوالى ٤,٣ سنة ضوئية (السنة الضوئية هى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة كاملة).

أما الفضاء فيما بين الكواكب فيشغله أتربة وغازات متنوعة منها المتعادل والمتأين ، كما أنه يمثل لشحنات سريعة تنطلق من الشمس فى جميع الاتجاهات تسمى الرياح الشمسية ، بالإضافة للحجارة النيزكية المنطلقة من منطقة الكويكبات، وبقايا ما يتحطم من شهب أو ينفصل عنها من مادة .

وتقاس المسافـات داخل المجموعة الشمسية بـالوحدة الفلكية (AU) . وهى متوسـط بعد الشمس عن الأرض وقـيمتها حـوالى ١٤٩,٦٠٠,٠٠٠ كيلو متر. أما عمر المجموعة فيقدر بـحوالى ٥٠٠٠ مليون سنة للشمس بينما تصغرها الكواكب بعض الشىء . حيث يقدر أعمارها بما يناهز ٤٦٠٠ مليون سنة .

(ii) النجوم : Stars

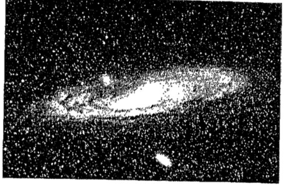
النجوم كرات لهب غازية عظمى يمور باطنها بتفاعلات نووية يختلف كنهها باختلاف عمر النجم وهى بذلك تضىء ذاتيا بطاقة تنبعث منها . والنجوم لا تظهر منفردة بل فى مجموعات من أعداد محدودة ، وتلـك المجموعات هى ما نسميها « الكوكبات » لكن تلك الكوكبات فى حقيقتها تجمع نجومًا ليس بينها أى صلات قربى غير ما تبدى لنا من أشكال سماها الأقدمون بما عايشوا من حيوان أو تخيلوا من كائـنات . والنجوم أصناف تـتنوع تبعًا لـخواصها الفـيزيائية الـتى تتحد تبـعًا لمراحل عمـرها ، ومعظمها تشابه الشـمس وهذه تسمى نجوم التتـابع الرئيسى ، وبعضها أكبر كثيرًا من الشمس فتسمى بالعمالقة أو فوق العمالقة ، والبعض الآخر أصغر كثيرًا من الشمس وتسمى الأقزام البيـض ، ومن النجوم المستقر ، والمتغير (حجمًا وضياء) بل ومنها ما يتفجر فينفصل جزء من مكوناته سابحًا فيما يحيطه من فضاء الكون .

وما بيـن النجوم ليس فـراغًا بل وسطا ماديـا يموج بالمادة والـطاقة ، وإن كانت كثافة أيها صغيرة بما لا يقارن بداخل النجم أو بأجوائه .

والنجوم ليست ساكنة هامدة ، بل تتـحرك حول مركز أسرتها الكبرى وهى المجرة ، كما أن النجوم توجد فى مـعظم الأحوال فى ثنائيات بل وحتى ثلاثيات تدور حول مـركز كتلتـها دورات أقصر كـثيرًا من دورة ذلـك المركز حول مـركز المجرة .

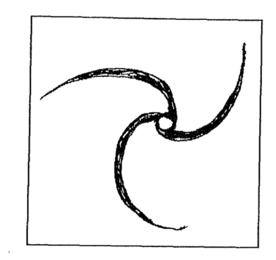


(iii) المجرات Galaxies

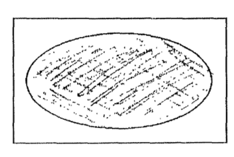


The Andromeda Galaxy - M31

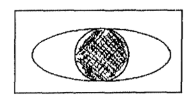
تجمعات ضخمة من النجوم والأتربة والغازات ومن أمثلتها مجرتنا الخاصة ، وهى تقع من حيث الشكل فى ثلاث مجموعات رئيسية ، المجرات الإهليليجية يقل لمعانها بالبعد عن المركز ، وحلزونية وهى تتكون من نواة وأذرع لولبية تتجمع فيها النجوم والأتربة والغازات ، والنوع الثالث يسمى بالمجرات العدسية وهى وسط ما بين الإهليليجية والحلزونية .



مجرة حلزونية



مجرة اهليليجية



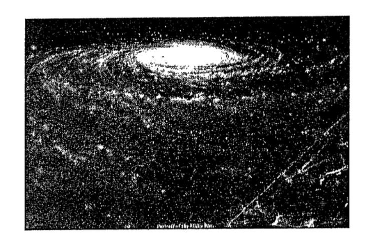
مجرة عدسية

وبالإضافة لتلك المجموعات الثلاث توجد مجموعة أخرى من المجرات غير منتظمة الشكل لا تنتمى لأى منها . ويقدر عدد المجرات بالكون طبقًا لأحدث أرصاد منظار هبل الفضائى بمئات الآلاف من ملايين المجرات ، وكل مجرة تضم ما بين مليون إلى (ترليون) مليون مليون نجم .

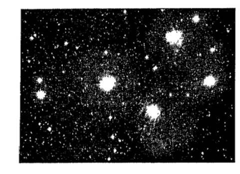
(iv) المجرة (مجرة الطريق اللبنى أو درب التبانة)

The Galaxy (Milky Way Galaxy)

عندما يـقال المجرة (دون إضـافة للاسم) فإننـا نعنى المجـرة التى تضم أسرتنا من مجموعة الشمس ، وهى مـجرة حلزونية قطرها حوالى ١٠٠ ألف سنة ضوئية ، وتـقع المجموعة الـشمسية على حـافة أحد الأذرع الحلزونيـة على بعد حوالى ٣٣ ألف مـليون سنة ضوئيـة من مركز المـجرة ، والمجرة تـضم حوالى ٢٠٠ ألف مليـون نجم ، يرى منهـا بالعين المـجردة حوالى ٦٠٠٠ نـجم ، أما المنظار المـتوسط فيمكنه رؤية المـلايين منها ، وهى تدور حول مركـزها بسرعة تختلف تبـعًا للبعد عن المركـز ، حيث تصل سرعة الدوران عند مـوقع الشمس لحوالى ٢٥٠ كـم / ث ، أى أن زمن الدورة حوالى ٢٠٠ مليـون سنة ،وبذلك تكون الشمس (ومجموعتها) قد أكملت حوالى ٢٥ دورة منذ نشأتها .









(v) السدم : Nebulae

كلمة (nebulae) تعنى السحب (clouds) باللاتينية ومفردها السديم (nebulae) . والسدم تجمعـات شديدة الكثافة من الغاز والغبـار ، وتبلغ كثافة المادة فيها ١٠٠٠ مرة مثل متوسط كثافـة مادة ما بين النجوم وقد يحتوى السديم على بعض الـنجوم التى تتكـون من تكثف بعض أجـزائها لتكون هذه الـنجوم . والسدم قد تـكون وضاءة أو معتمة . والـسدم الوضاءة تضىء إما بضـوء ينتج من داخلها كنتـيجة لتأين ذراتهـا وتأثير الأشعة فوق البنـفسجية من النجـوم المجاورة عليها ، أو بتشتت ضوء تلك النجوم علـى مكوناتها . وسديم الجبار أحد الأمثلة الشهيرة لـتلك السدم . أما السدم المعـتمة فتبدو فى الســماء كبقع مظلمة نـتيجة لامتصاص الغبار والغاز ما بين النجوم للضوء الصادر منها .

(vi) حشود النجوم : Star clusters

تجمعات نجوم تـشترك فى الحركة فى الفضاء ، وأهمهـا نوعان : الحشود المجرية أو المفتوحة ، والحشود الكرية ، والأولى تضم ما بين ١٠ إلى ١٠٠٠٠ نجم موزعة (بكثافة صغيرة) على حيز يمتد ما بين ١٥ إلى ٤٠ سنة ضوئية حول مسـتوى استواء المـجرة ، والنواة والأذرع اللولـبية ، أما الحـشود الكرية فـيضم الحشد ما بين ١٠٠٠٠٠ ومليون نجم مضغوطـة فى حيز من الفضاء يمتد ما بين ٧٥ إلى ٤٠٠ سنة ضـوئية ، ويضم الطريق الـلبنى حوالى ١٥٠ حشـد كرى فى منطقة كروية تحيط بـالمجرة وتسمى الهالة . ومن أشهر أمثلة الحـشود المفتوحة «الثريا» فى كوكبـة الثور ، أما الحشود الكرية فأشهـرها « سى ١٣ » تلك الواقعة فى كوكبة « النجم الجاثى على ركبته » .

(vii) حشود المجرات : Clusters of Galaxies

لا توجد المجرات مـنفردة بل فى نظم من كل الأحجام ، فمنـها الثنائية ، ومنها مجـموعات (وهى السائدة) تتكـون من عشرات قليلة من المـجرات مثل المجموعة المحلية التى تضم ٢٠ مجـرة تشغل منطقة قطرها حوالى ٣ مليون سنة ضوئية ، ومنها مجرة « أندروميدا » Andromeda .

ويسمى النظام المـجرى حشداً إذا زاد عدد أعضائه عن ٥٠ مـجرة لامعة . كذلك قـد تتجمع مـجموعـات المجرات أو حـشودها لتكون نظـمًا أكبر تـسمى «الحشـود الفائقة» ، وعلى سـبيل المثال تنـتمى المجمـوعة المحلية إضـافة إلى حوالى ٥٠ حشدا آخر لـلحشد الفائق المحلى الذى يقع مركـزه فى حشد العذراء (VIRGO) الذى يبعد حوالى ٦٠ مليون سنة ضوئية .



(viii) أشباه النجوم : Quasars

وهى أبعد الأجرام عنا والتى أمكن رصدها عـام ١٩٦٣ ، وتبدو صغيرة بحيث لا يتعدى حجـمها حجم مجموعتنا الـشمسية ، وتتحرك بسرعـات تقارب سرعة الضوء . وهى تشع إشعاعًا كثيفا ، ويتغير لمعانها كما لو كانت مجرات متغيرة . والضوء الذى يصلنا الآن من معظم أشباه النجوم انبعث منها والكون عند $\frac{١}{٤}$ عمره الحالى .

(ix) أجسام عرفت حديثا :

تشكل النجوم الكثـيفة أحد أهم ما عرفه الفلكيـون حديثا ، وتلك الأجرام هى :

(أ) النجوم النيوترونية : Neutron Stars

وهى نجوم صغيرة شـديدة الكثافة تمثل مرحلة متـأخرة فى تطور النجوم ، وقد عـانت تلك الـنجوم انهـيارًا تثـاقليًا هـائلا أدى إلى انضـغاط الإلكتـرونات والبروتونات لـتكون نيوترونات . وكثـافة تلك النجوم تتـراوح ما بين $١٠^{١٣}$ – $١٠^{١٥}$ جم / سم^{٣} ، ويتراوح قطرها ما بين ١٠ – ٢٠ كم ودرجة حرارة مركزها حوالى ١٠٠٠ مليون درجـة ، ولها مجال مغناطيسى شـديد يصل لحوالى $١٠^{١٢}$ جاوس ، ولتصور مدى انضغاط المادة داخل تلـك النجوم نذكر أن نجمًا نيوترونيًا فى كتلة الشمـس لا يزيد نصف قطره عن ١٠ كيلو مترات (نـصف قطر الشمس ٦٩٦٠٠٠ كيلو متر) .

(ب) النجوم النابضة : Pulsars

هى نجـوم نيوترونيـة لوحظ وجودهـا أول مرة سنة ١٩٦٧ م وهى مـصدر متغير للإشعاع الراديوى تبعث بـتلك الموجات بدورات شديدة الانتظام تتراوح ما بيـن ٠٣ , إلى ٥ ثوان . وكـان أول مـا شوهـد منهـا سنـة ١٩٦٩ م فى سـديم السرطان ، ثم اكتشف منها بعد ذلك أعداد كبيرة .

(جـ) الثقوب السوداء : Black holes .

هى مناطق محـدودة من فضاء الكون لا يمكن لأى مـادة أو طاقة أن تهرب منها ، بمعنى أن سـرعة الهروب منها تتجاوز سرعة الضـوء . وتتنبأ النظريات أن الثقب الأسود يمكن أن يتكون عندما يمر نجم ثقـيل بعملية انهيار تثاقلى كامل . فالنجـم حتى كتلة ١,٤ كتـلة الشمس ينهى حـياته كقزم أبيـض ، ويموت ذلك الأثقل قليلاً كـنجم نيوترونى ، أما إذا تعدت الـكتلة ٣ أمثال كتلة الـشمس يثوى النجم كثقـب أسود ، وفى تلك الحالة يكون نصف قطـر الثقب الأسود ٩ كم إذا



كانت كتلته ٣ أمثال الشمس وتستطيع قوة التثاقل المركزة للثقب الأسود جذب كل ما يقترب منه من مادة أو طاقة .

والثقوب السوداء لم تكتشف بالرصد حتى الآن ، وحيث لا يمكن للضوء أو غيره من صور الطاقة الهروب من الثقب الأسود ، فإن الكشف عنها شديد الصعوبة . ولكن لحسن الحظ تدور أى مادة تلاقى ثقبا أسود (على الأرجح) فى مدار حوله قبل أن تسقط عليه . وبذلك يتكون قرص من المادة المقتنصة يدور بسرعة كبيرة حول نفسه ويتوقع أن تشع مثل هذه المادة كمًّا كبيرًا من الأشعة السينية يمكن الكشف عنها .

٢ - ٣ مقاييس الكون : Scales of the Universe

فى علم الفلك تكاد الأعداد التى نتعامل بها فى حياتنا اليومية تفقد معناها، فالمسافات فى الكون هائلة ، والكتل ضخمة ، ودرجات الحرارة تبلغ قيمًا غير معتادة .

لذا يفضل قبل التحدث عن مقاييس الكون أن نتفق على نظام مبسط لتسجيل الأعداد .

لنتعود من الآن فصاعداً على كيفية التفريق بين الكميات ١ ، ١٠ ، ١٠٠ ، ١٠٠٠ ، مليون ، ألف مليون ، $١٠^{٣٣}$. وعلينا أن ندرك أننا إذا تعاملنا مع العدد $١٠^{١٢}$ فلن يهم كثيراً أن نضيف إليها أعدادا مثل ٣ أو ٧ مثلاً . والمشكلة فى التعامل مع الأرقام الفلكية أنها غير معتادة بأى صورة حتى للعاملين فى مجالات علمية أخرى ، بل إن بعض الناس لا يعرفون أكثر من العدد ٢ فيعدون ١ ، ٢ ، كثيرا . والأمريكيون على سبيل المثال يفكرون فى أى رقم كبير على أنه مليون . يضاف لتلك المشكلة أن أسماء بعض الأرقام تحمل معانى مختلفة من بلد لآخر ، فمثلاً المليون مليون تسمى تريليون فى الولايات المتحدة بينما تسمى بليون فى أوروبا . لذلك لن نذكر أسماء لأرقام تزيد عن المليون ، وبذلك سوف نعول دائمًا على قوى الرقم ١٠ ، أى عدد الأصفار يمين الرقم (١) .

بعد أن اتفقنا على نظام الأعداد نستعرض الآن بعضًا من أمثلة توضح مدى التباين الذى يكاد يتعدى حدود التصور بين ما على الأرض وما يدخل فى إطار المجموعة الشمسية وما يتعداها داخل المجرة أو فى أرجاء أخرى من الكون .

(أ) مقاييس المسافة : Distance Scales

يكفى على الأرض أن نقيس المسافات بالكيلومتر ، بل وفى بعض الأحيان بالسنتيمتر ، وفى داخل المجموعة الشمسية تُستخدم الوحدة الفلكية ، أما خارجها

فتفقد كل تلك الوحدات معناها وتزول جدواها ، ونلجأ لذلك لاستخدام السنة الضوئية (٩,٢٨ × ١٠^١٢ كم) .

ولتسهيل المقارنة وإيضاح كيف تتلاشى المسافات على الأرض وداخل المجموعة الشمسية إذا ما قورنت بالمسافات الكونية الأخرى ، سوف نذكر كل المسافات فى الجدول التالى مقاسة بالسنة الضوئية :

مقياس المسافات الكونية

المسافة	مقدارها (سنة ضوئية)
نصف قطر الأرض	٦,٨٧ × ١٠^-١٠
نصف قطر الشمس	٧,٥ × ١٠^-٨
بعد القمر عن الأرض	٤,١ × ١٠^-٨
بعد الأرض عن الشمس	١,٦ × ١٠^-٥
بعد بلوتو عن الشمس	٦,٣ × ١٠^-٤
بعد الشمس عن أقرب النجوم (ألفا قنطورس)	٤,٢
بعد الشمس عن مركز المجرة	٢٥٠٠٠ ـ ٣٠٠٠٠
بعد الطريق اللبنى عن أبعد مجرات المجموعة المحلية (مافى ١ Maffei 1)	٣,٣ مليون
« قطر مافى ١ » أقرب المجرات للطريق اللبنى	١٠٠٠٠٠
سحابة ماجلان الصغرى	١٩٦٠٠٠
سحابة ماجلان الكبرى	٢١٠٠٠٠
المجرات الخارجية	
مجرة اندروميد (المرأة المسلسلة)	٢,٢ مليون
مجرة هورليول (الدردور)	٣٧ مليون
مجرة كاريمويل (عجلة العربة)	٥٠٠ مليون
أبعد المجرات المعروفة	> ١٠٠٠٠ مليون
أبعد الأجسام المرئية (أشباه النجوم)	١٥٠٠٠ مليون إلى ٢٠٠٠٠ مليون
قطر الكون (المقدر)	١٥٠٠٠ مليون إلى ٢٠٠٠٠ مليون



(ب) مقاييس الزمن : Time Scales

دورة الأرض حول محورها ٢٣ ساعة و ٥٦ دقيقة

دورة الأرض حول الشمس ٣٦٥,٢٥ يوم = سنة

دورة بلوتو حول الشمس ٢٤٨,٤٣ سنة

دورة الشمس حول مركز المجرة ٢٠٠ مليون سنة

(جـ) مقاييس الكتلة : Mass Scales

كتلة ذرة الهيدروجين = ١,٦٧٣ × ١٠ جم

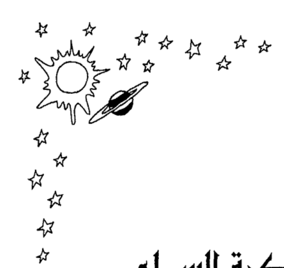
كتلة الأرض = ٥,٩٧٧ × ١٠ جم

كتلة الشمس = ١,٩٨٩ × ١٠ جم .

كتلة المجرة = ١٠٠٠٠٠ مليون قدر كتلة الشمس

= ١,٩٨٩ × ١٠ جم

هل لنا أن نتساءل الآن كيف تكون الأرض كتلة وحجمًا إذا قيست بمقاييس الكون خارج المجموعة الشمسية ؟



الفصل الثالث

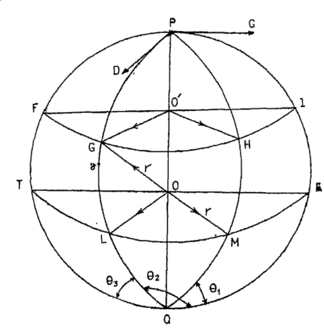
كرة الأرض وكرة السماء

The Terrestrial and Celestial Sphere

جاء فيما أوردنا عن الفلك قديمًا ذكر كرة يهيأ لنا أن النجوم تقع عليها ، وعليها تحدد مواقع تلك النجوم . كذلك الأرض إذا أردنا لها شكلا هندسيًا بسيطًا فأقرب ما تشابهه هو الكرة ، بذلك نشأ أحد أهم فروع علم الفلك وهو الفلك الكروى . يهتم هذا الفلك الكروى بدراسة نظم الإسناد على الأرض وفى السماء، والاتجاهات والتحركات الظاهرية للأجرام السماوية ، وتعيين مواقع تلك الأجرام باستخدام الأرصاد ، وتصحيح أى أخطاء فى هذه الإحداثيات أو تغير فيها يحدث مع الزمن أو لأى أسباب أخرى . والفصل الحالى يوجز من أساسيات هذا العلم ما لا يجب أن يغيب عن أى مبتدئ فى دراسة علم الفلك .

٣-١ حساب المثلثات الكروى :

إذا قطع مستوى كرة فإنه يقطعها فى دائرة . فلو مر المستوى بمركز الكرة سميت الدائرة الناتجة « **دائرة عظمى** » ذلك أن نصف قطرها هو نصف قطر الكرة نفسها . أما إذا بعد عن المركز كانت الدائرة « **دائرة صغرى** » نصف قطرها أقل من نصف قطر الكرة ويقل بالبعد عن مركزها . ويسمى طرفا القطر العمودى على أى دائرة بقطبى تلك الدائرة . ولا يمكن أن يمر بنقطتين على سطح الكرة غير



شكل (١) الدوائر العظمى والدوائر الصغرى

دائرة عظمى واحدة ، إلا إذا وقـعت النقطتان على طرفى نفس الـقطر ، ففى هذه الحالة تكون كل الدوائر الـمارة بهما دوائر عظمى وتكون أقل مسافـة بين نقطتين على سطح الكرة على امتداد الدائرة العظمى المارة بهما ، وسبب ذلك أنها الأقل انحناء . وتقاس الزاوية بين دائـرتين عظميين إما بالزاوية بين مسـتويهما أو بطول قوس الدائرة العظمى العمودية عليهما ونصف قطرها الوحدة .

ويسمى جزء الكرة المحصور بين نصفى دائرتين عظميين هلالا (Lune) .

ومساحة الهلال = ضعف زاويته (بالتقدير الدائرى) × مربع نصف القطر .

أمثلة توضيحية : فى شكل (١)

- PQRT دائرة عظمى .
- TLMR نصف دائرة عظمى قطباها P , Q .
- FGHI نصف دائرة عظمى قطباها P , Q (لأنها توازى TLMR) .
- أصغر مسافة بين نقطتى L , M على سطح الكـرة هى القوس LM من الدائرة العظمى TLMR .
- الزاوية بين الدائرتين العظميين PRQT و PGLQ هى الزاوية DRC أو القوس LM مقسومًا على r .
- PMQRI هلال زاويته Θ_1 .
- PLQTI هلال زاويته Θ_2 .
- PTQL هلال زاويته Θ_3 .
- PLQMH هلال زاويته DPC .

ولأننا لا يهمنا مقدار نصف قطر الكرة فقد اتفق على اعتباره مساويًا للوحدة ما دمنا نتعامل مع نقاط تقع على سطح نفس الكرة وبذلك تكون :

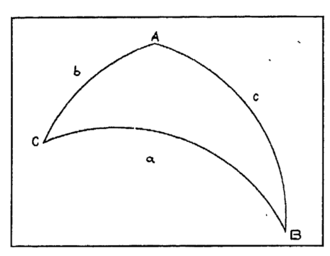
الزاوية بين PMQ , PRQ = MR

الزاوية بين PLQ , PRQ = LR

الزاوية بين PLQ , PMQ = LM

والمثلث الكروى : شكـل على سطـح الكرة ذو ثـلاثة رؤوس ينتـج من تقاطع ثلاث دوائر عظمى . مثال ذلك فى شكل (١) المثلثات QLM , PLT أما PGF أو PGH فليسا مثلثين كرويين لأن F ، FH ليسا قوسين من دوائر عظمى.

ويمكن تلخيص أهم خواص المثلث الكروى كالآتى (شكل ٢) .



شكـــل (٢) مثلث كروى

* مجموع الأضلاع أقل من 2Π

$$a + b + c < 2\,\Pi \qquad (1)$$

مجموع الزوايا أكبر من Π وأقل من $3\,\Pi$

$$\Pi < A + B + C < 3\,\Pi \qquad (2)$$

تسمى زيادة مجموع الزوايا عن Π بالزيادة الكروية (Sphericl excess)

$$E = (A + B + C) - \Pi \qquad (3)$$

ومقدار الزيادة الكروية يختلف من مثلث لآخر

مساحة المثلث الكروى (σ)

$$\sigma = E\,r \qquad (4)$$

حيث r نصف قطر الكرة التى يقع المثلث على سطحها .

وترتبط أضلاع المـثلث الكروى بالعلاقات الآتية ، مـع مراعاة أن الأضلاع



تقاس بقدر الزوايا التى تحصرها عند مركز الكرة :

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \qquad (5)$$

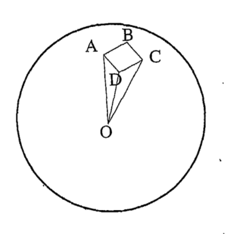
$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \qquad (6)$$

$$\cos a \cos B = \sin a \cot c - \sin B \cot C \qquad (7)$$

$$\sin a \cos C = \cos c \sin b - \sin c \cos b \cos A \qquad (8)$$

وتقاس المساحات على سطح الكرة إما بالدرجات المربعة أو بالزوايا نصف القطرية المربعة .

فإذا رسمناها هرمًا رأسه عند مركز الكرة O وكانت أحرفه تحصر زوايا مقدارها درجة واحدة ، فإنه يقطع سطح الكرة فى مساحة يحصرها أربعة أقواس طول كل منها درجة واحدة .



شكل (٣) الدرجة المربعة

هذه المساحة أو أى مساحة تكافئها ، بغض النظر عن شكلها ، تساوى درجة مربعة واحدة . وفى الهرم المرسوم فى شكل (٣) إذا كان

$$< Aob = < Boc = < Cod = < Doa = 1^{\circ}$$

فإن الهرم يقطع الكرة فى الشكل ABCD حيث الأقواس

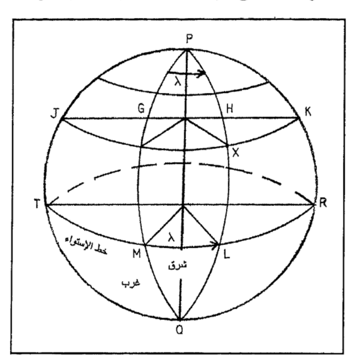
$$\overset{\frown}{AB} = \overset{\frown}{BC} = \overset{\frown}{CD} = \overset{\frown}{DA} = 1^{\circ}$$

وبذلك تساوى المساحة ABCD درجة مربعة واحدة .

٢-٣ طرف عن الأرض :

الأرض كرة منبعجة نصفها الجنوبى أكبر قليلاً من الشمالى فهى أقرب فى شكلها لثمرة الباذنجان (Eggplant) وهى تدور حول محورها من الغرب إلى الشرق فتكمل دورة كل يوم . ومحور الأرض يقطع سطحها فى القطب الشمالى P والقطب الجنوبى Q . والمستوى العمودى على محور دوران الأرض يقطع سطحها فى الدائرة العظمى TR وتسمى خط الاستواء . كما تسمى أنصاف الدوائر

العظمى المارة بالقطبين P , Q دوائر نصف النهار أو خط الـطول . ومن المتفق عليه اعتبار خط الطول الأساسى هو ذلك المار بمرصد جرينتش G .



شكـــل (٤) الكرة الأرضية

٣-٣ الإحداثيات الأرضية :

يحدد مـوقع أى مكان X على سطح الأرض بـواسطة إحداثيـين هما طول المكان وعـرضه . لتـحديد هذين الإحـداثيين نرسـم خط الطول PXLQ المار بالمكان ليقطع خط الاستواء فى L . فيكون بعد المكان XL عن خط الاستواء مقـاسًا على خـط الطول هو عرض الـمكان ϕ' (وهو يـساوى الـزاوية XOL) وتتراوح قيم ϕ' من صفر (على خط الاستواء) إلى + ٩٠° (عند القطب الشمالى) شمالاً . وإلى – ٩٠° (عند القطب الجنوبى) جنوبًا .

أما طول المكان λ فهو الزاوية بين خط الطول الأساسى PGQ وخط الطول المار بالمكان ، ويقاس من صفر (على خط الطول الأساسى) إلى ١٨٠° غربًا أو شرقًا . وعـادة تعتبر الأطـوال الشرقية سـالبة والغربيـة موجبة . ويسـمى القوس $px = 90^{o} - \phi'$ تمام العـرض . والأماكن التى لهـا نفس العرض تقـع على دائرة



صغرى موازية لخط الاستواء ، وتسمى هذه الدائرة دائرة العرض ومثالها الدوائر GH , Jxk فى شكل(٤) .

ويلاحظ أن الأرض تكمل دورة حول محورها كل ٢٤ ساعة أى أن :

$$360^{\circ} \equiv 24 \text{ ساعة}$$

$$\text{أو } 15^{\circ} \equiv 1 \text{ ساعة}$$

وبذلك يعنى فرق الطول بمقدار ١٥° فارقًا زمنيًا مقداره ١ ساعة . يسمى العرض المعرف أعلاه العرض المركزى . ولكن حين نذكر العرض فإننا نقصد العرض الجغرافى وهو الزاوية بين خط الرأس ومستوى الاستواء . ويتساوى العرضان المركزى والجغرافى إذا كانت الأرض كاملة الاستدارة . فإذا أخذت تضاريس سطح الأرض فى الاعتبار فإن خط الاستواء يكون متعرجًا ولا يقع فى مستوى واحد ويكون العرض فى هذه الحالة هو « العرض الفلكى » ويعرف بأنه المتمم للزاوية بين اتجاه الرأس واتجاه الشمال الجغرافى .

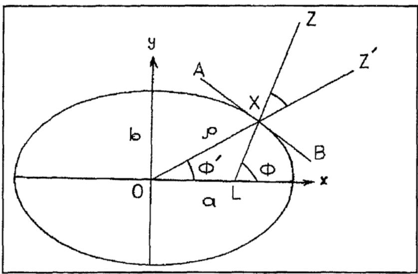
العرض الجغرافى :

إذا أهملنا تضاريس سطح الأرض فإن شكلها المتوسط يمكن أن يمثل بمستوى سطح المحيط ، وهذا السطح يسمى « الجيؤويد » وهو أقرب ما يكون لشكل « كرة منبعجة » أو « قطع ناقص دورانى » كما فى الشكل (٥) . فيكون مقطعها الاستوائى دائرة نصف قطرها a ومقطعها العمودى على خط الاستواء قطع ناقص نصف قطره الأكبر a ونصف قطره الأكبر b . وفى سنة ١٩٧٩ م أقر الاتحاد الفلكى الدولى القيم التالية :

نصف القطر الاستوائى $a = 6378.140 \text{ km}$

نصف القطر القطبى $b = 6356.755 \text{ km}$

مقدار التفلطح $F = \frac{a - b}{a} = 0.0033528$ (Flattening)



شكـــــل (٥) العرض الجغرافى ϕ والعرض المركزى ϕ'

إذا كان X أحد الأماكن على سطح الأرض وكان AB مماسًا للجيؤويد عند X ، يكون اتجاه الرأس هو الاتجاه ZXL العمودى على هذا المماس ، وبالتالى يكون العرض الجـغرافى للمكان X هو الـزاوية ϕ بيـن XL ومستـوى الاستواء OLX . أما الزاوية بين oxz' وبين مستوى الاستواء فتمثل العرض المركزى ϕ' .

العلاقة بين ϕ و ϕ' : من هندسة القطع النـاقص فى شكل (٥) والذى يمثل خط الطول المار بالموقع X .

$$y = p \sin \phi' ، X = p \cos \phi$$

حيث p نصف قطر الأرض عند X ويكون :

$$\tan \phi' = y / x \qquad (9)$$

ولكن معادلة القطع الناقص هى :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

ومنها

$$\tan \phi = \frac{-1}{\left(\frac{dy}{dx}\right)} = \frac{a^2}{b^2}\left(\frac{y}{x}\right) \qquad (10)$$

من المعادلتين (9) و (10) نجد أن :

$$\tan \phi = \frac{a^2}{b^2} \tan \phi \qquad (11)$$

ويسمى الفارق ′ $v = \phi - \phi$

بزاوية الرأس ، وأقصى قيمة لتلك الزاوية ١١,٥′ عند عرض ٤٥°.

الميل البحرى :

تسمى الدقيقة القوسية على امتداد أى خط طول بالميل البحرى . وحيث إن انحناء خطوط الطول يختلف تبعًا لعرض المكان ، فقد اتفق على تعريف الميل البحرى بأنه دقيقة قوسية عند عرض ٤٥° وبذلك فإن :

١ ميل بحرى = ١٨٥٢ متراً

٣-٤ كرة السماء (Celestial Sphere) :

إذا تخيلنا أنفسنا داخل كرة ضخمة شفافة ننظر من خلالها لأجرام السماء فإن ما يصلنا من شعاع من ضوء كل منها يقطع تلك الكرة فى نقطة يتوحد اتجاهها مع اتجاه الشعاع ، إذن فتلك الكرة تمثل قبة السماء ، ولو رسمنا عليها دوائر عظمى كتلك التى عرفناها على سطح الأرض أمكننا تعريف محاور إسناد بواسطتها تحدد مواقع الأجرام السماوية . تلك الكرة التخيلية هى ما نسميها «الكرة السماوية» وهى تدور بالنجوم من الشرق إلى الغرب بنفس قدر دوران الأرض من الغرب إلى الشرق فتحمل النجوم وغيرها من أجرام السماء تحت الأفق لتغرب ثم باستمرار الدوران تعيد رفعها فوق الأفق لتشرق من جديد ، وحيث إن مفهوم تلك الكرة يقصد إلى تعيين اتجاهات الأجرام السماوية وليست أبعادها ، فإن قيمة نصف قطر الكرة لا تهمنا فى قليل أو كثير ، ومن ثم فإننا نعتبره مساويًا للواحد الصحيح .

٣-٥ الإحداثيات السماوية :

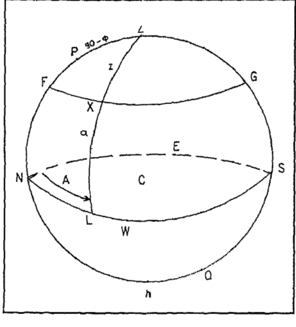
يعرف موقع أى جرم سماوى بإحداثيين مشابهين للعرض والطول على سطح الأرض . وتوجد نظم مختلفة تعرف بواسطتها تلك الإحداثيات .

١ - النظام الأفقى :

هى أقرب الإحداثيات السماوية لإدراك الإنسان . وقبل أن نصف تلك الإحداثيات نوجز التعريفات التالية :

مستوى الأفق : هو المماس لسطح الأرض يمتد بموقع الراصد.

الأفق السماوى (أو الأفق): هو الدائرة العظمى الناتجة من تقاطع مستوى الأفق مع الكرة السماوية .



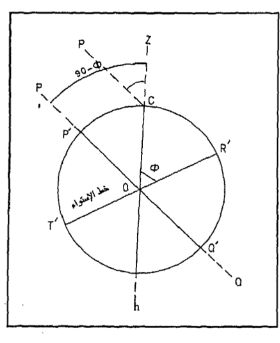
شكل (٦) الكرة السماوية والإحداثيات الأفقية

السمت والنظير : هما النقطتان على الكرة السماوية رأسيا فوق الراصد وتحت قدميه، على الترتيب .

الدوائر الرأسية : هى الدوائر المارة بكل من السمت والنظير وهى عمودية على الأفق.

القطبان السماويان : هما النقطتان على الكرة السماوية الناتجتان من تقاطع محور دوران الأرض معها ، وهما شمالى وجنوبى تبعًا لنظيريهما على الأرض .

وشكل (٧) يوضح الأرض O والراصد C ونقطتى السمت (Z)



شكل (٧)



والنظير (n) لهذا الراصد . وفى الشكل $Q' \ P'$ هو محور دوران الأرض وبذلك يكون P هو القطب السماوى الشمالى و Q هو القطب السماوى الجنوبى . ومن الشكل يتضح أن الزاوية بين اتجاه السمت واتجاه P مقدارها ($90^{\circ} - \phi$) .

دائرة الزوال : هى نصف الدائرة الرأسية المارة بالقطبين السماويين . وتسمى الدائرة الكاملة PZQN دائرة نصف النهار .

الجهات الأصلية : هى النقاط الأربع على الأفق الممثلة للشمال N (أسفل القطب الشمالىP مباشرة) والجنوب S (نظيره N بالنسبة للقطب الجنوبى Q)، والشرق E والغرب W ويعرفان بالنسبة للشمال والجنوب تبعًا للقاعدة الجغرافية المعروفة وهذه النقاط موضحة فى شكل (٦) .

والآن يمكن تعريف الإحداثيات الأفقية

الإحداثيات الأفقية:

نرسم الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوى X (شكل ٦) فيكون الإحداثيان المطلوبان هما :

الارتفاع (a) : هو المسافة XL بين النجم X وبين الأفق مقاسة على الدائرة الرأسية . وتتغير قيمة الارتفاع ما بين صفر على الأفق ، ٩٠° عند السمت، – ٩٠° عند النظير . ومن الواضح أن القيم السالبة تعنى أن الجرم تحت الأفق أى أنه فى تلك اللحظة لا يظهر لراصد عند نقطة C على سطح الأرض . وتسمى المسافة Z = zx المسافة السمتة ($Z = 90^{\circ} - a$) .

الزاوية السمتية (A) : هى الزاوية بين الدائرة الرأسية المارة بالجسم وبين دائرة الزوال . أى أنه القوس على الأفق بين النقطة L وبين تقاطع دائرة الزوال مع دائرة الأفق . وزاوية السمت ليس لها نقطة بدء محددة متفق عليها فيمكن أن تقاس من N شرقًا وغربًا من صفر إلى ١٨٠° ، ويمكن أن تقاس إما من N أو من S شرقًا أو غربًا من صفر حتى ٣٦٠° .

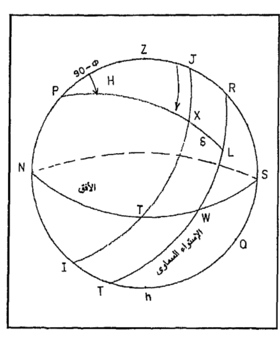
والدوائر الصغرى الموازية للأفق (مثل FXG) تتساوى قيم الارتفاع لكل الأجرام الواقعة عليها ، لذا تسمى دوائر الارتفاع . كذلك فإن قيمة زاوية السمت تكون ثابتة بالنسبة لكل دائرة رأسية .

ومن الواضح أن الارتفاع والزاوية السمتية لأى نجم يتغيران من مكان لآخر ومن لحظة لأخرى .

٢ - النظام الاستوائى : I

الاستواء السماوى : يقطع مستوى الاستواء الأرضى الكرة السماوية فى دائرة عظمى، هى دائرة الاستواء السماوى . وقطبا هذه الدائرة (TR فى شكل ٨) هما القطبان السماويان P , Q . والاستواء السماوى هو الدائرة الأساسية فى هذا النظام .

دوائر الساعة : هى أنصاف الدوائر المارة بالقطبين السماويين الشمالى والجنوبى . بذلك يمكن تعريف دائرة الزوال بأنها دائرة الساعة الرأسية .



شكل (٨)

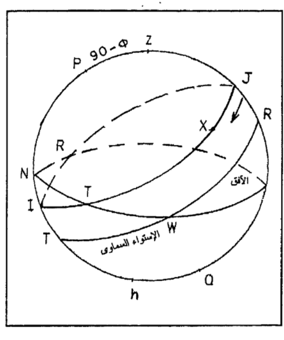
يمكن الآن تحديد موقع X بالإحداثيين :

زاوية الميل (δ) : هى البعد XL بين X والاستواء السماوى مقاسة على دائرة الساعة المارة بالجسم X . وقيم δ تقع ما بين صفر (على خط الاستواء) إلى ± ٩٠° عند القطبين (موجب شمالاً وسالب جنوبًا) .

وتسمى المسافة $P = 90^\circ - \delta$ المسافة القطبية الشمالية وتقع الأجسام ذات الميل الواحد على دائرة صغرى موازية لخط الاستواء تسمى دائرة الميل (مثل IXJ فى شكل ٨) .

زاوية الساعة (H) : هى الزاوية بين دائرة الزوال وبين دائرة الساعة المارة بالجسم . وهى تقاس بدءًا من صفر (على دائرة الزوال عند J) غربًا إلى ٣٦٠° . ويمكن قياس زاوية الساعة من صفر حتى ٢٤ ساعة .

٣ - دوائر الحركة اليومية :

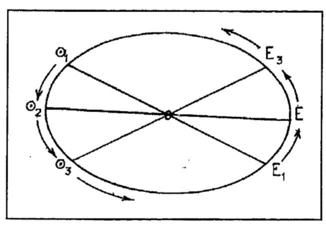


شكـــل (٩) الحركة اليومية للنجوم

نتـيجـة لدوران الأرض فى حركتها اليومـية حول محورها من الغـرب إلى الشرق ، تـدور الكرة السمـاوية حول نفس المـحور فى حـركـة يومـيـة من الـشـرق إلى الغـرب. وبذلـك ترسـم النجـوم دوائر صغـرى حول محـور الكرة السـماوية ، وبـذلك تكون تـلك الدوائر موازية لخط الاستواء .

بفرض أن أحد الـنجوم كان فى لحظة معـينة عند X ، بمرور الوقت يـتحرك الـنجم غربًـا على دائرة الحركة اليومية JXTIR حتى يغـرب تحت الأفق عند T ويظل فى حركته تحت الأفق حتـى يصل لأقصى انخفاض لـه تحت الأفق عند I حيث يعبر دائرة الزوال فيسمى هذا عبورًا سفليًا (Lower culmination or lower transit) ثم يبدأ فى الارتفاع تجاه الأفـق مرة أخرى ليشرق عند R ، ويستمر مرتفعًا فوق الأفق حتـى يصل لأقصى ارتفـاع له عند J حيث يعـبر دائرة الزوال عبـورًا علويًا (Upper culmination on upper transit) بعـدها يبدأ فى الـهبوط تـجاه الأفق .

٤ - حـــركـــة الـشـــمـــس الظاهرية حول الأرض :



شكـــل (١٠) مدار الشمس الظاهرى

تـدور الأرض حـول الشمس فى حركتها السنوية من الغـرب إلى الشـرق فى مـدار بـيـضـاوى (شـبـه دائرى). لـكن بـالنسـبـة لراصـد على الأرض تبـدو

الشمس كما لو كانت هى التـى تدور حول الأرض فى نفس الاتجاه ، فإذا كانت الأرض عند E_1 تبدو الشـمس على الكرة السمـاوية عند Θ_1 (يرمز للشـمس عادة بالرمز Θ) فإذا تحـركت الأرض إلى E_2 ثم E_3 تبدو الشمس كـما لو كانت قد تحركت إلى Θ_2 ثم إلى Θ_3 .

ويقطع مستوى مـدار الأرض حول الشمس الكرة السمـاوية فى دائرة عظمى $(\gamma S_1 \gamma' S_2)$ تسمى الدائرة الكسوفية ، تميل على خط الاستواء بزاوية $\varepsilon = 23^\circ\ 27'$ وتقطعه فى نقطتى γ ، γ' .

وفى حركـتها السنويـة الظاهرية تتحرك الشمس علـى الدائرة الكسوفية من الغرب إلى الشرق فـتصل للمواقع الموضـحة فى شكل (١١) تقـريبًا فى الأزمنة الموضحة فى الجدول التالى.

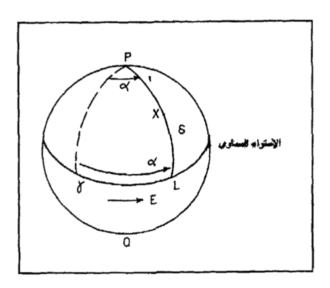
شكل (١١) الدائرة الكسوفية ودائرة الاستواء السماوى

حركة الشمس السنوية الظاهرية

النقطة	اسمها	التاريخ	ميل الشمس	ملاحظات
γ	الاعتدال الربيعى	٢١ مارس	صفر	بداية فصل الربيع جغرافيا
S_1	الانقلاب الصيفى	٢٢ يونية	ε	بداية فصل الصيف جغرافيا
γ'	الاعتدال الخريفى	٢٢ سبتمبر	صفر	بداية فصل الخريف جغرافيا
S_2	الانقلاب الشتوى	٢٢ ديسمبر	ε	بداية فصل الشتاء جغرافيا

٥ - الإحداثيات الاستوائية # :

حيث إن النجم يتحرك فى حركته اليومية موازيًا لخط الاستواء فإن زاوية الميل ثابتة لا تتغير مع المكان أو الزمان ما دام خط الاستواء ثابتًا . أما زاوية الساعة فهى تتغير على مدار اليوم من صفر حتى ٢٤ ساعة . لذا لزم تعريف إحداثى آخر ثابت يمكن استخدامه مع δ فى تحديد مواقع الأجرام السماوية دون لبس ، يسمى المطلع المستقيم.



شكـــل (١٢) الميل والمطلع المستقيم

المطلع المستقيم : هو الزاوية بين دائرة الساعة المارة بالنجم وتلك المارة بنقطة γ ، وهى تساوى المسافة من γ إلى L مقاسة من صفر إلى $360°$ أو من صفر إلى ٢٤ ساعة .

٦ - الإحداثيات الكسوفية :

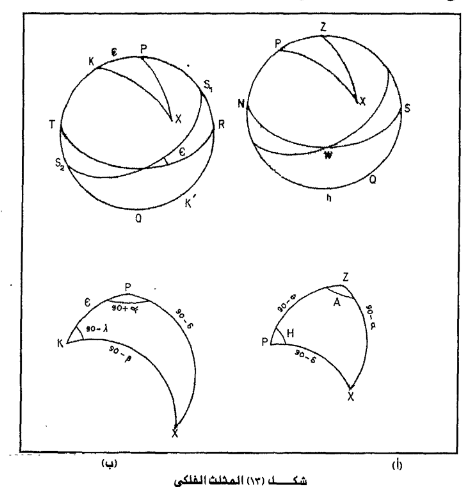
تعرف بنفس طريقة تعريف الإحداثيات الاستوائية مع إبدال الدائرة الكونية الكسوفية كدائرة أساسية بالاستواء السماوى .

العرض السماوى (β) : هو المسافة بين النجم وبين الدائرة كسوفية مقاسة على الدائرة العظمى من قطب الدائرة الكسوفية k إلى النجم (شكل ١١) ومن الواضح أن $\beta_{\odot} = 0$

الطول السماوى (τ) : هو المسافة L γ على الدائرة الكسوفية مقاسة من γ شرقًا من صفر حتى ٣٦٠° .

٧ - المثلث الفلكى والعلاقات بين النظم المختلفة :

من المثلث ZPX (شكل ١٣ أ) .



شكـــل (١٣) المثلث الفلكى

$$\sin a = \sin \phi \sin s + \cos \phi \cos \delta \cos H \qquad (12)$$

$$\sin A \cos a = \cos \delta \sin H \qquad (13)$$

$$\cos a \cos A = \sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos H \qquad (14)$$

يلاحظ فى (١٣)، (١٤) أننا اعتبرنا الزاوية السمتية مقاسة من اتجاه الشمال (N) غربًا .



من المثلث kpx (شكل ١٣ ب) .

$$\cos \beta \sin \lambda = \sin \delta \sin \varepsilon + \sin \delta \cos \varepsilon \sin \qquad (15)$$

$$\cos b \cos \lambda = \cos \alpha \cos \delta \qquad (16)$$

$$\sin b = \sin \delta \cos \varepsilon - \cos \delta \sin \varepsilon \sin \alpha \qquad (17)$$

٨ - تصحيح الأرصاد :

تعانى الأرصاد الفلكية من مؤثرات مختلفة بعضها يسببه تغير فى محاور الإسناد وبعضها نتيجة مؤثرات أخرى ، وهذا يتطلب التصحيح لتلك المؤثرات .

انكسار الضوء : (Refraction)

عندما تخترق أشعة الضوء القادمة من أى جرم سماوى الغلاف الجوى متجهة نحو الأرض تعبر من وسط أخف إلى وسط أعلى فى الكثافة ، لذلك فإنها تنحرف متجهة نحو السمت فيبدو الجرم أعلى فوق الأفق .

فإذا كان البعد السمتى ζ الظاهرى والحقيقى Z فإن Z تعطى بالصيغة التقريبية التالية :

$$Z = \zeta + 58.\!''2 \tan \zeta \qquad (18)$$

اختلاف المنظر : (Parallex)

ينجم عن الرصد من أماكن مختلفة ويمكن أن يستخدم تغير الاتجاه مع تغير موقع الرصد فى تعيين المسافات واختلاف المنظر الناتج عن الرصد من فوق سطح الأرض بدلاً من الرصد من مركزها يتغير تبعًا للموقع الجغرافى ، وارتفاع الجرم السماوى فوق الأفق ، وتسمى قيمته لراصد عند خط الاستواء عندما يكون الجرم على الأفق «اختلاف المنظر الأفقى الاستوائى » وقيمته للقمر ٥٧َ وللشمس ٨,٧٩ً . واختلاف المنظر يتسبب فى إزاحة الجرم السماوى بعيداً عن السمت ، أى يقلل من ارتفاعه فوق الأفق.

الزيغ الضوئى : (Aberration)

سببه السرعة المحدودة للضوء ، مما يتسبب فى إزاحة الجسم فى اتجاه

حركة الراصد ، وبذلك ينتج الزيغ من حركة الأرض حول الشمس (الزيغ السنوى) ودورانها حول محورها (الزيغ اليومى) . كذلك يجب التصحيح لحركة الكواكب خلال الفترة التى يستغرقها ضوؤها فى رحلته إلى الأرض .

المبادرة والترنح : (Precession and nutation)

ينتجان من جذب الشمس والقمر والكواكب للأرض مما يتسبب فى عدم ثبات مستوى خط الاستواء ونقطة الاعتدال الربيعى .

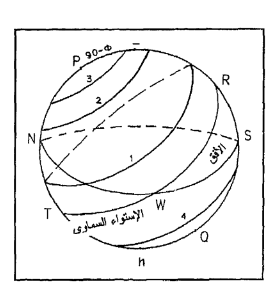
٩ - النجوم الخسان : (Circumpolar stars)

يوضح شكل (١٤) دوائر الحركة اليومية لأربعة نجوم يلاحظ فيها .

النجم رقم 1 : يغرب عند غ ويشرق عند ش . فهو فوق الأفق من ش إلى غ ، ثم تحت الأفق بين غ ، ش .

النجم رقم 2 والنجم رقم 3 : يظلان فوق الأفق فلا يغربان .

النجم رقم 4 : يظل تحت الأفق بصفة دائمة ، وبذلك لا يرى أبدًا من الموقع 2 على سطح الأرض (C هو موقع الراصد وهو فى نفس الوقت مركز الكرة السماوية لهذا الراصد) .



شكـــل (١٤) النجوم الخسان

النجوم 2 ، 3 التى لا تغرب تسمى بالنجوم الخسان ، والنجم القطبى هو أشهر أمثلتها فى نصف الكرة الشمالى .

والحالة الحدية للنجم كى لا يغرب أن يكون عبوره السفلى من نقطة N ، وفى هذه الحالة يكون $NP = 90 - \delta$

$$(90 - \delta) + (90 - \phi) = 90^\circ$$

أى أن

$$\delta = 90^{\circ} - \phi$$

ومن ثم فإن شرط ألا يغرب النجم هو

$$\delta > 90^{\circ} - \phi \qquad (19)$$

وشرط ألا يشرق النجم هو

$$-\delta > 90^{\circ} - \phi \qquad (20)$$

وتعكس إشارات كل من ϕ ، لراصد فى نصف الكرة الجنوبى .

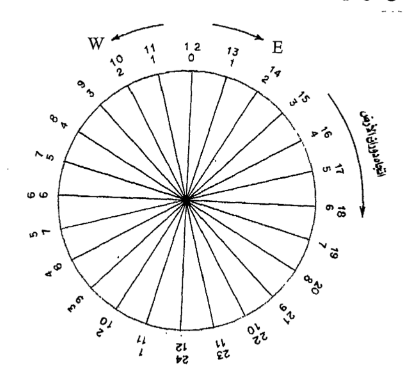
ميـل النجم القـطبى ٩٠ تقـريبًا . وبـذلك فهـو لا يرى فى نصـف الكرة الجنوبى ، لكنه لا يغرب أبدًا فى نصف الكرة الـشمالى ويكون ارتفاعه فى مكان عرضه ϕ . أى أن ارتفـاعه هو عرض الـمكان . لذا فهـو عند خط الاسـتواء لا يبارح الأفق ، بينما يـقبع فى نقطة السمت لراصد فى القطـب الشمالى ، أما فى القطب الجنوبى فهو لا يريم عن نقطة النظير .



٣ - ٦ قياس الزمن :

كان قياس الزمن وما زال من أبرز مهام علـم الفلك ولأهمية الزمن فى حياة الإنسان نوجز أسس النظم المختلفة لقياس الزمن .

١ - المناطق الزمنية :



شكـــل (١٥) خطوط الطول القياسية والمناطق الزمنية

حيث إن الكرة السمــاوية تدور فى حركتها اليوميــة الظاهرية من الشرق إلى الغرب فإن الشمــس وغيرها من الأجرام السماوية تشــرق أولاً على خطوط الطول الواقعة تــجاه الشرق ثم تتحــرك غربًا لتشرق عــلى تلك الواقعة غــربها . وبذلك يختلف التــوقيت من مكان لآخر على سطح الأرض مع اخــتلاف طول المكان . لذلك اعتبــرت خطوط الطول 0 ، 15 ، 30 ، . . خطوطًا قــياسية ، وقــسمت الأرض إلى ٢٤ منطــقة زمنية ســعة كل منهــا ١٥° (أى ساعة) تمتــد ٧,٥° شرق وغرب كل خط طول قياس كما هو موضح فى شكل (١٥) وبذلك يزداد التوقيت بالانتقال من منطقة إلى التالية لها شرقًا بمقدار ساعة ، بينما يقل بالاتجاه غربًا .

فإذا كان التوقيت فى جرينتش ١٢ ظهرًا يوم ٣ نوفمبر (مثلاً) يكون توقيت



كل المنطقة الخضراء المحيطة بخط الطول صفرا ١٢ ظهرًا . وفى المنطقة التى تليها شرقًا ١٣ ظهرًا بينما يكون توقيت المنطقة التالية لها غربًا ١١ قبل الظهر ، وبالاستمرار شرقًا نصل إلى خط الطول ١٢ شرقًا فنجد أن أصبح ٢٤ يوما ٣ نوفمبر ، بينما لو تحركنا غربًا نصل إلى خط الطول ١٢ غربًا (وهو نفس الخط ١٢ شرقًا) لنجد التوقيت قد أصبح صفرا يوم ٣ نوفمبر ، أى أن فارق التوقيت بين الواقف على خط الطول ١٢ من الشرق وبين الواقف عليه من الغرب يوم كامل . لذلك يسمى هذا الخط خط الزمان الدولى .

من التوقيتات المدرجة نجد أن :

توقيت جرينتش = التوقيت المحلى + طول المكان

مع مراعاة أن الطول يقاس موجب غربًا وسالب شرقًا .

٢ - الزمن النجمى :

يقاس بواسطة التحركات اليومية للنجوم . ويقدر بزاوية الساعة لنقطة الاعتدال الربيعى . والفترة بين عبورين متتاليين لنقطة γ لخط الزوال تسمى « اليوم النجمى » وهو يبدأ لحظة العبور العلوى عندما تكون زاوية الساعة لنقطة γ مساوية للصفر ، وطول اليوم النجمى ٢٤ ساعة نجمية .

٣ - الزمن الشمسى المتوسط والزمن العالمى :

لا يمكن ضبط أمور الحياة اليومية باستخدام الزمن النجمى ، فأمور الحياة ترتبط بالشمس حين تشرق أو تغيب . إلا أن الشمس التى تُرى لا يمكن أن تكون حركتها اليومية مقياسًا لزمن يتغير بانتظام ، ذلك أنها تتحرك على الدائرة الكسوفية، بينما الحركة اليومية ترتبط بخط الاستواء ، وهى تتحرك فى قطع ناقص تزداد فيه السرعة وتبطئ . لذا اتفق الفلكيون على أن تستخدم شمس أخرى (تخيلية) تسمى الشمس المتوسطة فى دائرة وتتحرك على خط الاستواء ، وبذلك تكون حركتها منتظمة ، لكنها تكمل دورة فى حركتها تلك المنتظمة فى نفس الفترة التى تكمل فيها شمسنا الحقيقية دورة فى مدارها المائل الأهليلجى .

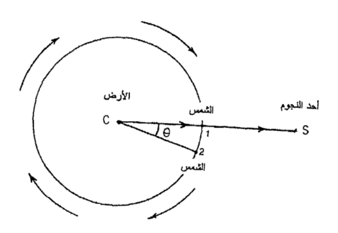
ويبدأ اليوم الشمسى المتوسط عندما تعبر الشمس المتوسطة دائرة الزوال

عبورًا سفليًا . أى أن طوله هو الفترة بين عبورين سفليين متتاليين . وحيث إن زاوية الساعة للشمس فى تلك اللحظة ١٢ ساعة ويرتبط الزمن الشمسى المتوسط بزاوية الساعة للشمس المتوسطة بالعلاقة

$$M.S.T = H.A.M.S + 12^{h} \qquad (21)$$

والزمن العالمى هو الزمن الشمسى المتوسط فى مدينة جرينتش .

ونتيجة للحركة الظاهرة للشمس حول الأرض يزيد طول اليوم الشمسى قليلاً عن طول اليوم النجمى . ويتضح هذا من الشكل (١٦) .



شكل (١٦) اليوم النجمى واليوم الشمسى

نفترض أن النجم S والشمس عبرا خط زوال الراصد فى لحظة واحدة . بعد أن تدور الأرض حول محورها دورة كاملة يقع S على خط الزوال مرة أخرى. وبذلك يكون قد مضى يوم نجمى كامل ، إلا أن الشمس تكون قد تحركت من الوضع 1 إلى الوضع 2 بزاوية مقدارها θ ، وبذلك لكى يكمل يوم شمسى يجب أن تدور الأرض °٣٦٠ + θ . ومقدار الزاوية θ أقل قليلاً من الدرجة وبذلك يكون طول اليوم النجمى حوالى ٤ث ٥٦ق ٢٣س شمسية .

٤ - نظم التوقيت الفلكية (التى تستخدم فى الأغراض الفلكية)

أساس نظم التوقيت الفلكية هو توقيت جرينتش الشمسى المتوسط والمسمى بالتوقيت العالمى UT .



يسمى التوقيت العالمى الناتج مباشرة من الأرصاد UTO .

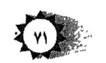
وبتصحيح هذا الزمن لتغيرات الطول نتيجة للمبادرة والترنح وحركة قطب الأرض نحصل على زمن أكثر انتظامًا نسميه UTI . إلا أن هذا الزمن يعانى من تغيرات دورية صغيرة بدورتين على الأقل (سنة وستة أشهر) لذلك تم تصحيحه لنحصل على UT ٢ الذى لا يزيد الخطأ النسبى فيه عن ١٠^-٧ . لكن هذا أيضًا كان يعانى من إبطاء دوران الأرض بسبب المد والجزر ، ولذلك عدل الفلكيون تمامًا عن استخدام اليوم كوحدة للزمن .

فى البداية سنة ١٩٦٠ م استخدم « الزمن الزيجى Ephemeirs Time» والذى يعتمد على حركة الأرض حول الشمس ، وفى الثمانينيات بدأ استخدام مفاهيم النسبية العامة فى أن لكل راصد زمنًا خاصًا به فى تعريف الزمن . فأدخل الزمن الديناميكى للأرض (TDT) بعد حذف تأثير دورانها حول محورها ثم أدخل زمن حركة كتلة المجموعة الشمسية (TDB) . بعد ذلك استخدم الزمن الذرى لضبط الفترات الزمنية حيث تُعرف الثانية على أنها تعادل ٩,١٩٢,٦٣١ مرة قدر دورة الضوء المنبعث من نظير عنصر « سيزيوم ١٣٣ » فى المستوى الأرضى . وتصل دقة هذا الزمن الذرى لحوالى ١٥^-١٢ . وباستخدام متوسطات لساعات ذرية مختلفة أمكن الوصول لدقة تصل إلى ٤ × ١٠^-١٣ .

ولضبط الزمن العالمى المبنى على دوران الأرض حول محورها ابتكر سنة ١٩٧٢ ما يسمى « الزمن العالمى المتسق » (Coordinated U.T.) . وهى أساس إشارات الزمن والذى تتبعه ساعاتنا إن كانت بالدقة الكافية . ويتضمن UTC ما يسمى بالثانية الكبيسة للتصحيح لعدم انتظام دوران الأرض حول محورها فلا يزيد الفارق بين UT ١ و UT ٢ عن ٩, ثانية فإن زاد تضاف الثانية الكبيسة (أو تطرح) وذلك فى آخر يونيو أو آخر ديسمبر . وقد أدى بطء الأرض فى دورانها إلى إضافة ثانية كبيسة كل سنة منذ سنة ١٩٧٢ .

٥ - السنون :

يوجد للسنين خمسة تعريفات، ثلاث منها قريبة من الملاحظة ، أما الباقيان فلأغراض فلكية خاصة .



(١) السنة المدارية : Tropical year

هى دورة الأرض حول الشمس ما بين مرورين متتاليين بنقطة الاعتدال الربيعى . السنة المدارية = ٣٦٥,٢٤٢٢ يوما .

(٢) السنة النجمية : Sidereal year

هى الدورة حول الشمس بالنسبة للنجوم .

السنة النجمية = ٣٦٥,٢٥٦٤ يوما .

(٣) السنة الشاذة (أو الحضيضية) : Anomalistic year

هى الفترة بين عبورين متتاليين على نقطة الحضيض (أقرب نقطة فى مدار الأرض للشمس) .

السنة الحضيضية = ٣٦٥,٢٥٩٦ يوما .

(٤) السنة الكسوفية : Ecliptic year

يقطع مدار القمر حول الأرض الدائرة الكسوفية فى نقطتين تسميان العقدة الصاعدة والعقدة الهابطة (أو نقطة الرأس ونقطة الذنب) ونظرًا للإقلاقات التى تحدثها الشمس والكواكب الأخرى على حركة القمر فإن خط العقدتين يدور فى دائرة البرج مكملاً دورة كاملة كل ١٨,٦ سنة .

والفترة الزمنية بين عبورين متتاليين للشمس (فى حركتها الظاهرية حول الأرض) على العقدة الصاعدة (أو النازلة) يسمى السسنة الكسوفية .

السنة الكسوفية = ٣٤٦,٦٢٠١ يوما .

(٥) السنة البيسيلية : Besselian year

هى سنة مدارية تبدأ عندما يكون المطلع المستقيم للشمس المتوسطة ١٨ ساعة و ٤٠ دقيقة (أو ٢٨٠) .

وهى تستخدم فى تسجيل مواقع النجوم ويرمز لها بإضافة 0 . بعد السنة مثل 0 . 1950 أو 0 . 02000 وقد كانت الجداول الفلكية حتى قبل سنة ١٩٨٤ تسند إلى سنة 0 . 1950 ثم أصبحت تسند إلى سنة 0 . 2000 .



٦ - التاريخ الجولياني : Julian Date

التاريخ الجولياني شائع الاستعمال في الحسابات الفلكية المختلفة حيث لا تستخدم فيه الشهور أو السنون . وهو يبدأ بالعدد اليومي صفر لأول يناير سنة ٤٧١٣ قبل الميلاد ويحصى الأيام تباعًا من هذا التاريخ ويرمز لها بالعدد اليومي الجولياني . واليوم فيه يقاس من الظهر الأوسط إلى الظهر الأوسط التالي .

وعلى سبيل المثال :

$$UT\ ,\ 12^{h}\ Jan.\ 1\ ,\ 1900 = 2.415.020\ JD$$

وللحد من كبر هذه الأرقام يستخدم أحيانًا التاريخ الجولياني المعدل MJD وتعريفه :

$$MJD = JD - 2400000.5$$

وهو بذلك يقاس من الساعة صفر يوم ١٧ نوفمبر سنة ١٨٥٨ بالتوقيت العالمي .

٣ - ٧ التقاويم :

كما رأينا في أطوال السنين ، لا تحتوى السنة على عدد صحيح من الأيام، وكذلك دورة القمر حول الأرض ، وقد دعا هذا لعمل تقاويم يتم فيها تعريف سنين مدنية تنظم أطوالها بحيث يكون طول كل منها عددًا صحيحًا من الأيام . وقد كان لكل الحضارات والشعوب القديمة (تقريبًا) تقاويم خاصة بها تقوم إما على حركة الشمس (الظاهرية) أو على حركة القمر .

وسوف نستعرض هنا باختصار التقويم الميلادى والتقويم الهجرى .

١ - التقويم الميلادى :

يعتمد التقويم الميلادى على السنة المدارية . وقد اعتبر يوليوس قيصر أن الطول التقريبي للسنة ٣٦٥,٢٥ يومًا. ولتعويض الكسر كبس السنة مرة واحدة كل ٤ سنوات ، فتكون السنة كبيسة وطولها ٣٦٦ يومًا إذا كانت تقبل القسمة على ٤ ، وبذلك جعل شهر فبراير ٢٩ يومًا في السنة الكبيسة و ٢٨ يومًا في السنة العادية .



وبسبب الفارق عن الطول الحقيقى للسنة فقد أدخل البابا جريجورى فى سنة ١٥٨٢ تصحيحًا على التقويم الجوليانى ليصبح طول السنة ٣٦٥,٢٤٢٢ ، وذلك بإسقاط السنين القرنية (أى التى تنتهى بصفرين) من الكبس إلا إذا كانت تقبل القسمة على ٤٠٠ وبذلك يكون .

٤٠٠ سنة جريجورية = ٤٠٠ × ٣٦٥ + ٩٧ يومًا

فتكون ١ سنة جريجورية = ٣٦٥,٢٤٢٥ يومًا

وبذلك لا تختلف عن الطول الحقيقى بأكثر من ٣ أيام كل ١٠,٠٠٠ سنة .

٢ - التقويم الهجرى :

أساس هذا التقويم هو الشهر القمرى الاقترانى وطوله ٢٩ يوما و ١٢ ساعة و ٤٤ دقيقة و ٢,٨ ثانية أى ٢٩,٥٣٠٥٨٩ يومًا . ويبدأ الشهر العربى مع ميلاد الهلال الذى حدث عند اقتران الشمس والقمر (أى وقوع الأرض والقمر والشمس على خط واحد تقريبًا وبالترتيب المذكور) وهى ظاهرة منسوبة لمركز الأرض ، وبذلك تختلف لحظة الميلاد باختلاف التوقيت وكذلك مواقيت رؤية الهلال الوليد ومدة مكثه فوق الأفق بعد غروب الشمس .

وإذا تذكرنا أن أول محرم من السنة الهجرية الأولى يوافق الخميس ١٥ يوليو سنة ٦٢٢ ميلادية بالتقويم الجوليانى و ١٨ يوليو سنة ٦٢٢ بالتقويم الجريجورى ، يمكن إعداد تقويم هجرى بحيث تكون الشهور القمرية ، متفقة إلى أقصى حدود التقريب مع الفترة الزمنية الميلادية بين ميلادين متتاليين للهلال .

وإذا اعتبرنا طول الشهر القمرى ٢٩ يومًا و ١٢ ساعة ، ٤٤ دقيقة وأغفلنا الثوانى وقدرها ٢,٨ ثانية حيث إنها لا تتعدى يوما واحدا خلال ٢٤٠٠ سنة ، فإن السنة الهجرية المتوسطة = ١١/٣٠ ٢٥٤ يومًا . وهذا يوحى بدورة ثلاثينية منها ١١ سنة كبيسة ، ١٩ سنة عادية .

وتكون السنون كبيسة أو عادية تبعًا لقيمة ع فى المعادلة الآتية :

ع = باقى القسمة ((١١ س + ١٤) / ٣٠) [< ١١ كبيسة ، > ١١ عادية] . حيث س رقم السنة الهجرية فى الدورة .

مثلاً إذا كانت س = ٢ فتكون ع = ٦ وهى سنة كبيسة .

وإذا كانت س = ١٢ فتكون ع = ١٦ وهى سنة عادية .

وهذا التقويم متفق فيه على أن تكون السنة العادية ٣٥٤ والسنة الكبيسة ٣٥٥ ويكون الكبس فى نهاية شهر ذى القعدة . وتوضح المعادلة السابقة أن السنين الكبيسة فى كل دورة هى التى أرقامها :

٢ ، ٥ ، ٧ ، ١٠ ، ١٣ ، ١٦ ، ١٨ ، ٢١ ، ٢٤ ، ٢٦ ، ٢٩ .

ويمكن دون صعوبة طبقًا لهذا النظام إيجاد اليوم من الأسبوع المناظر لأى تاريخ هجرى .

تعقيب : التقويم الهجرى المذكور مجرد اجتهاد ولضبط السنة الهجرية مع السنة الميلادية ، إلا أنه لا يصح الأخذ به للأسباب التالية :

أ - توزيع أطوال الشهور الهجرية ما بين ٢٩ أو ٣٠ يومًا لا يمكن أن يوضع مقدمًا فهو يتعلق بأمور العقيدة ويجب تتبع حركة القمر الحقيقية بصورة دقيقة .

ب - حركة القمر لا يمكن ضبطها لفترات زمنية طويلة .

جـ - الحديث الشريف « **صوموا لرؤيته وأفطروا لرؤيته** » وكذلك الآية الكريمة ﴿ **فَمَن شَهِدَ مِنكُمُ الشَّهْرَ فَلْيَصُمْهُ** ﴾ (البقرة : ١٨٥) لا يدعان مجالاً للتنصل من الرؤية .

د - الحساب الفلكى الدقيق يتيح وسيلة مضمونة للاسترشاد وليس إلا .

هـ - طبقًا للآراء الفقهية ومنها ما صدر عن مجمع البحوث الإسلامية بالأزهر الشريف سنة ١٩٦٥ فإن ثبوت رؤية الهلال فى بلد إسلامى تعنى بدء الشهر فى كل البلاد التى تشاركه فى جزء من الليل وفى هذا تيسير كبير يغنى عن الشطط الذى قد يسببه أى تقويم هجرى يحدد مقدمًا أطوالاً للسنين وأطوالاً للشهور.

٣-٨ حساب اتجاه القبلة :

تحديد اتجاه القبلة لأى مكان من الأمور اليسيرة سواء فى الحساب أو فى

التعريـف ، هى فقط تتطلب فهـمًا صحيحًا لـقيم الزوايا الناتجة مـن الحساب . وسنذكر طريقة الحساب بالتفصيل تبعًا لموقع المكان بالنسبة لمكة المكرمة .

تعريف اتجاه القبلة : اتجاه القـبلة هو الزاوية المحـصورة بين اتجاه الـشمال واتجاه مكة المـكرمة بالنسبة للمكـان المطلوب تحديد القبلة فـيه ، ويكون ذلك بمـراعـاة كـروية الأرض وإلا كانت النتيجة خاطئة .

وتبـعًا لـهذا الـتعـريف نرسـم مسـتويًـا مارًا بـمركـز الأرض وبالـقطـب الشـمـالى فيقطع سطح الأرض فى الدائرة العظـمى XP ، ثـم نـرسـم المستوى الـمار بمركز الأرض والمكان ومكة المكرمـة فيقطع سـطـح الأرض فـى الـدائـرة العظمى XM .



شكـــل (١٧) تعريف اتجاه القبلة

بذلك تكـون الزاوية β المقـاسة من اتجـاه الشمـال تجاه مكة هـى الزاوية المطلوبة .

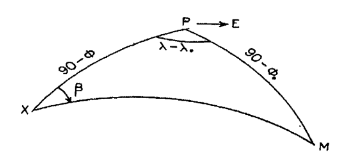
تفاصيل الحساب :

(١) X يقع شمال غرب مكة :

نفرض أن مكة $M(\lambda_\circ , \phi_\circ) = (-40^\circ , 21^\circ N)$

والمكان X $X(\lambda , \phi)$

الزاوية β مقاسة من الشمال تجاه الشرق من صفر حتى ١٨٠ .



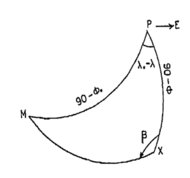


من المثلث PXM

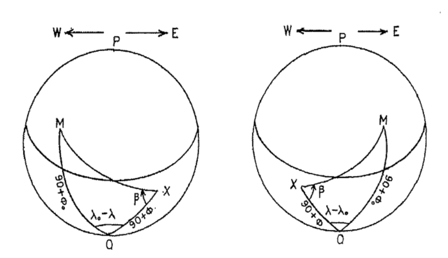
$$\sin\phi\cos(\lambda-\lambda_\circ)=\cos\phi\tan\phi_\circ-\sin(\lambda-\lambda_\circ)\cot\beta$$

$$\tan\beta=\frac{\sin(\lambda-\lambda_\circ)}{\cos\phi\tan\phi_\circ-\sin\phi\cos(\lambda-\lambda_\circ)} \qquad (22)$$

(٢) X شمال شرق مكة:(β مقاسة من الشمال تجاه الغرب من صفر حتى ١٨٠).



$$\tan\beta=\frac{\sin(\lambda_\circ-\lambda)}{\cos\phi\tan\phi_\circ-\sin\phi\cos(\lambda_\circ-\lambda)} \qquad (23)$$



شكـــل رقم (١٨) اتجاهات القبلة فى نصف الكرة الجنوبى

(٣) X جنوب غرب M : (β من الجنوب تجاه الشرق)

$$\tan\beta=\frac{\sin(\lambda-\lambda_\circ)}{-\cos\phi\tan\phi_\circ+\sin\phi\cos(\lambda-\lambda_\circ)} \qquad (24)$$

(٤) X جنوب شرق M : (β من الجنوب تجاه الغرب)

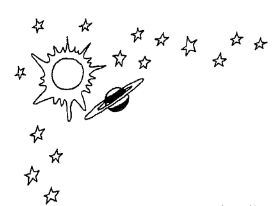
$$- \sin \phi \cos (\lambda_\circ - \lambda) = - \cos \phi \tan \phi_\circ - \sin (\lambda_\circ - \lambda) \cot \beta$$

$$\tan B = \frac{\sin (\lambda_\circ - \lambda)}{- \cos \phi \tan \phi_\circ \pm \sin \phi \cos (\lambda_\circ - \lambda)} \qquad (25)$$

ملاحظات : أ - يمكن اشتقاق المعادلات (22) من (23) ، (25) من (24) بكتابة ($\lambda - \lambda_\circ$) بدلاً من($\lambda_\circ - \lambda$) بسبب تبادل المواقع شرقًا وغربًا بين M و X .

ب - يمكن اشتقاق كل من (24) ، (25) على الترتيب من (22) ، (23) بتغيير إشارات كل من ϕ و $\phi_\circ$.

جـ - إذا أردنا اشتقاق نظائر للمعادلات (24) ، (25) منسوبة للقطب الشمالى يكفى وضع - ϕ بدلاً من ϕ فى كل من (22) ، (23) على الترتيب.



الفصل الرابع

الإشعاع والطيف

Radiation and Spectra

وسيلة الفلكى لدراسة الأجرام السماوية هى ما تبعث به تلك الأجرام من رسائل تتمثل فى الموجات الكهرومغناطيسية بمختلف أطوالها . وأكثر ما نتوقع استقباله من تلك الموجات خلال حياتنا يملأ الفضاء حاليًا فى رحلته إلينا من كافة الاتجاهات ، وقد تكون بعض تلك الموجات قد غادرت الجرم الذى بعث بها منذ آلاف أو حتى ملايين السنين . والضوء العادى هو أكثر صور تلك الموجات مصاحبة لنا وإن كانت تتكون من أنواع مختلفة هى أشعة جاما ، وأشعة إكس ، والأشعة فوق البنفسجية ، والضوء العادى ، والأشعة الحرارية أو تحت الحمراء، وموجات الراديو ، ولا تحتاج تلك الموجات لوسط مادى تنتقل فيه وإن كنا لا ندرك كنهها إلا بتفاعلها مع الأجسام المادية المختلفة .

وتتميز الموجات المغناطيسية عن بعضها باختلاف أطوالها الموجية (كما نراها فى موجات الراديو والتليفزيون) وهى تمتص بواسطة المادة أو تنبعث منها فى صورة طاقات تمثل أعدادًا صحيحة من وحدات طاقة تسمى « فوتونات » . والطاقة التى يحملها كل من هذه الفوتونات تختلف مع الطول الموجى للإشعاع المنبعث أو الممتص تبعًا للعلاقة .

$$E = hc / \lambda$$

حيث c = ٣ × $١٠^{١٠}$ سم / ث هى سرعة الضوء، λ طول الموجة بينما h= ٦,٦٥ × $١٠^{-٢٧}$ إرج / ث هو ثابت بلانك .

والفوتونات تسير فى الفراغ بسرعة الضوء في خطوط مستقيمة ما لم تقع تحت تأثير مادى يحيد عن مساراتها تلك .

٤ - ١ أنواع الموجات الكهرومغناطيسية :

١ - **الموجات الراديوية** : هى أطول تلك الموجات حيث تصل أطوالها لعدة كيلو مترات . وعندما تمر تلك الموجات بموصل (مثل الهوائى) تحدث تيارًا ضعيفًا يمكن تكبيره وتسجيله باستخدام أجهزة مناسبة .

٢ - **الموجات الحرارية** : تتراوح أطوالها الموجية بين ٠٠٠٧, مم إلى ١ مم ، ويمكن تصوير ما تقل أطواله عن ٠٠١٥, مم بألواح فوتوغرافية خاصة ، أما تلك الأطوال من ذلك فتسجل باستخدام أجهزة خاصة .

٣ - **الضوء المرئى** : يشغل الأطوال المـوجية ٤٠٠٠ - ٨٧٠٠٠ (٨١ = ١٠^-٨^سم) ويحدد طول الموجة لون الضوء المرئى حيث يمثل أقصرها (٤٠٠٠- ٥٥٠٠) اللون البنفسجى ، بينما يمثل أطولها اللون الأحمر .

الموجات الراديوية	تحت الحمراء	الضوء المرئى	فوق البنفسجى	أشعة إكس	أشعة جاما
→ عدة كيلو مترات					

١ مم ‏ ٠.٠٠٠٧ سم (٧٠٠٠ Å) ‏ ٤٠٠٠ Å ‏ ٢٠٠٠ Å ‏ ١, Å

شكـــل (١) الطيف الكهرومغناطيسى

٤ - **الأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس :**

الأشعة الواقعة فـى المنطقة الأقصر من الطيف المرئى تـسمى الأشعة فوق البنفسجيـة ، أما تلك التى تقل أطوالها عن ٨٢٠٠ فتمـثل أشعة إكس ، ويمكن الكشف عن كليهما إما بالتصوير الفوتوغرافى أو بالفوتومترات الكهروضوئية .

٥ - **أشعة جاما (أقصر من ١ , Å)** : تنبعث عادة خلال التفاعلات النووية أو من المواد المـشعة . وهى تتولد فى أعمـاق داخل النجوم ثم تتحـول تدريجيًا إلى موجات من الـضوء المرئى بالامتصـاص والانبعاث المتكرر بـواسطة الغازات المكونة للنجم .

ويعرف مجمـوع الموجات المكونة للإشعـاعات الكهرومغناطيسـية بالطيف الكهرمغناطيسى ويستفاد من هذه الموجات باستقبال المنطقة الطيفية المطلوبة منها بواسطة المنظار المناسب الذى يقوم بتجميعها عند بؤرته . هذه الأشعة المتجمعة يمكن تسجيلها بالوسيلة المناسبة لطبيعتها ولنوع الدراسة المطلوب إجراؤها .

٤ - ٢ الطيف والفلك :

تتبنى الدراسات الفلكية الطيفية على قوانين كيرشوف الثلاثة وعلى ما يسمى بتأثير دوبلر .

شكل (٢) أنواع الطيف

١ - قوانين كيرشوف :

(أ) يبعث الجسم الصلب أو السائل المتوهج بضوء يشتمل على كل الأطوال الموجية ، وبذلك يكون طيفًا مستمرًا .

(ب) يبعث الغاز المخلخل المتوهج بضوء يتكون طيفه من خطوط مضيئة ، يتخللها فى بعض الأحيان طيف مستمر .

(جـ) إذا مر الضوء الأبيض من مصدر متوهج خلال أحد الغازات فإن الغاز قد يجرد الضوء من بعض الأطوال الموجية فتبدو صورة خطوطه معتمة .

وترجع أهمية قوانين كيرشوف إلى أن لكل غاز خطوطه المميزة التى تنبعث منه إذا استثيرت ذراته ثم عادت لحالتها الطبيعية ، أو يمتصها إذا مر خلاله طيف مستمر ، وبذلك يمكن الكشف عن وجود أى غاز إذا اكتشفت خطوط الطيف المميزة له ، وأشهرها خطوط فرنهوفر التى اكتشفت فى طيف الشمس .

والدراسة المستفيضة لتكوين الطيف القادم من أحد الأجرام تمكن من معرفة درجات الحرارة والضغط وغيرها من الظروف الفيزيائية السائدة فى المنطقة التى انبعث الطيف منها أو مر من خلالها ، وذلك باستخدام قوانين الإشعاع المختلفة من قانون ستيفان بولتزمان بأن الطاقة E المنبعثة عند درجة حرارة T تعطى بالعلاقة :

$$E(T) = \sigma\ T^{4} erg / cm^{2} / sec$$

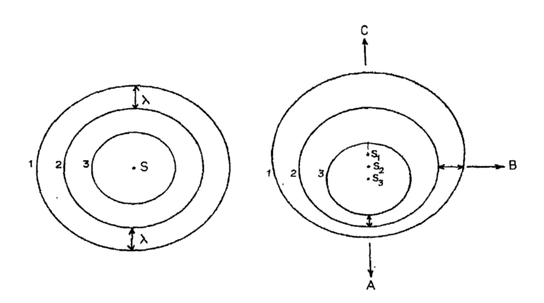
حيث T مقاسة بدرجات الحرارة المطلقة ، σ = ٥,٦٧٢ × $^{-}$١٠^{٥} هى ثابت ستيفان- بولتزمان .

٢ - تأثير دوبلر:

يمكن بدراسة هذا التـأثير تعيين سرعة تباعد أو تقـارب الأجرام السماوية . فإذا كان مصدر الضوء يتحرك مقتربًا من الراصد تقترب الموجات الصادرة عنه من بعضها ، أما إذا كان يبتعد فإن المـوجات تتباعد عن بعضها ، وينتج عن ذلك أن خطوط الطيف تنزاح تجاه الموجات الأقصر فـى حالة اقتراب مصدرها بينما يزداد طولها فى حالة ابتعاد هذا المصدر .

ويمكن تصور هذا التأثير بـسهولة من شكل (٣) . ففى الرسم (a) انبعثت الموجات 1 ، 2 ، 3 والمصدر ثابت فى نفس موضعه S لذلك تصل إلى الراصد بفاصل فى المسافة قدره λ بين كل منها (حيث الطول λ الموجى للضوء الصادر من S) . أما فى (b) فإن المصدر بعث بالموجة 1 وهو فى الوضع S_1 ، ثم بعث

b a



شكـــل (٣) تاثير دوبلر

بالموجة 2 وهو فى الوضع S و 3 وهو فى الوضع S نتج عن هذا كما هو موضح فى الشكل أن الموجات تتقارب بالنسبة للراصد A الذى يقترب منه المصدر ، بينما تتباعد بالنسبة للراصد C الذى يبتعد عنه المصدر ، أما الراصد B الذى يتعامد اتجاهه مع اتجاه الحركة فلا تتأثر الموجات الواصلة إليه . وتسمى الإزاحة بالنسبة للراصد C إزاحة حمراء (Redshift) بينما هى للراصد A إزاحة زرقاء.

إذا كانت الحركة على امتداد خط الرؤية الواصل من الراصد إلى المصدر بسرعة υ ، وكانت الموجات تنبعث من المصدر بطول λ ، فإن التغير فى أطوال هذه الموجات يعطى بالعلاقة :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\sqrt{1+\upsilon/c}}{\sqrt{1-\upsilon/c}} - 1 \qquad (1)$$

فإذا كانت $\frac{\upsilon}{c}$ >> 1 تصبح المعادلة (1)

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\upsilon}{c} \qquad (2)$$

وتكون $\Delta\lambda$ موجبة فى حالة التباعد وسالبة فى حالة الاقتراب

ويصعب الكشف عن التغير فى الطيف المستمر حيث يستلزم ذلك ألا تقل السرعة عن عشرات الآلاف من الكيلومترات فى الثانية الواحدة ، ولكنه يقاس بدقة ويسر فى الطيف الخطى .

٤-٣ تعريفات أساسية :

١ - الزاوية المجسمة : (Solid angle)

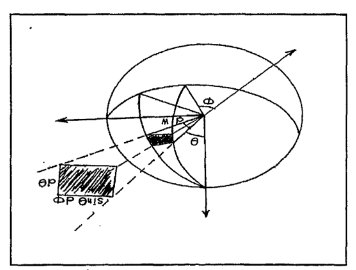
هى المساحة على سطح كرة ، نصف قطرها الوحدة عند مركزها ، أو هى المسافة مقسومة على مربع نصف قطر الكرة إن اختلف عن الواحد الصحيح . من شكل (٤) يتضح أن الزاوية المجسمة dw ترتبط بالزوايا Θ , ϕ بالعلاقة :

$$dw = \sin\Theta \, d\Theta \, d\phi \qquad (3)$$

كذلك من الواضح أن مساحة الكرة تكافئ زاوية مجسمة مقدارها $4\,\Pi$ زاوية نصف قطرية مربعة ، ولحساب المساحة بالدرجة المربعة نلاحظ أن مساحة الدائرة:

$$A = 4\,\Pi\,R^2$$





شكـــل (٤) الزاوية المجسمة

ولكن طول محيط دائرة عظمى $S = 2\Pi R = 360^\circ$ أى أن

$R = \dfrac{360^\circ}{2\Pi}$ و $A = \dfrac{(360)^2}{\Pi} = 41253$ درجة مربعة

ويكون عدد الدرجات المربعة فى الزاوية النصف قطرية المربعة :

$\text{Sq. rad.} = \dfrac{129600}{4\Pi^2} = 3282.8$ درجة مربعة

٢ - الشدة النوعية : (Specific intensity)

إذا كانت dE_ν كمية الطاقة التى تعبر سطحًا مساحته dA خلال الزاوية المجسمة dw وكانت Θ هى الزاوية بين محور الإشعاع والعمودى على السطح فإن dE_ν تعطى بالعلاقة :

$$dE_\nu = I_\nu \cos\Theta \, dA \, d\nu \, d\omega \, dt \qquad (4)$$

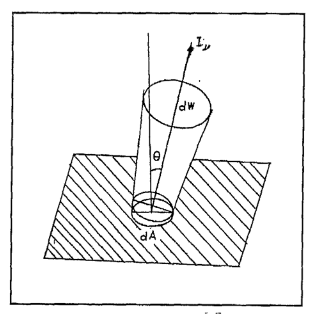
فى المعادلة (4) يسمى المعامل I_ν « الشدة النوعية » للإشعاع وهى تتغير بصفة عامة مع الاتجاه والموضع أى أن :

$$I = I_\nu(x, y, z, l, m, n, t).$$

وهنا تنشأ حالات خاصة هامة إذا كان مجال الإشعاع :

- متماثلاً (isotropic) $\quad I_\nu = I_\nu(x, y, z, t)$
- متجانسًا ومتماثلاً (Homogeneous and isotropic) $\quad I_\nu = I_\nu(t)$





شكـــل (٥) الشدة النوعية

- متساويًا على طبقات متوازية (Plane parallel) $I_\nu = I_\nu(z, \Theta, f, t)$
- متماثلا حول محور (Axially symmetric) $I_\nu = I_\nu(z, \Theta, t)$
- متماثلا كرويًا (Spherical symmetric) $I_\nu = I_\nu(r, \Theta, t)$

٣ - فيض الإشعاع F_ν **:** (Flux)

هو كمـية الطاقـة لكل وحدة مسـافة فى وحدة الـحيز التـرددى وفى وحدة الزمن.

$$F_\nu = \int I_\nu \cos \Theta \, dw \qquad (5)$$

وإذا كان مجال الإشعاع متماثلاً

$$F_\nu = \int I_\nu \cos - dw = 0$$

وسبب هذا أن الإشعاع الساقط على السطح مساو لذلك الخارج منه .

٤ - كثافة الإشعاع : (Density of rad)

كثافة الإشـعاع عند نقطة هى كميـة الإشعاع الذى يعبر وحـدة الحجوم فى الجوار المباشر لتلك النقطة فى الحيز الترددى المحدد .

$$u_\nu = \frac{1}{c}\int I_\nu dw \qquad (6)$$

إذا كان المجال متماثلاً

$$= \frac{4\Pi}{c} I_\nu$$

٥ - الضياء (L) : (Luminosity)

معـدل انبعاث الإشـعاع الكهرومـغناطيسـى من الجرم السـماوى ، أى أنه الفيض الإجمالى الذى يعبر سطحًا مغلقًا يحيط به .

ولو كان إشعاع المصدر متماثلاً وقدره F على بعد r من المصدر يكون :

$$L = 4\Pi r^2 F \qquad (7)$$

٦ - اللمعان : (Brightness)

هو فيض الإشعاع الصادر من وحدة المساحات فى وحدة الزاوية المجسمة.

٤ - ٤ القدر الظاهرى والقدر المطلق :

فى القرن الثانى قـبل الميلاد صنف الفلكى الإغريقى الشهـير « هيباركس » النجوم تبعًا لدرجات لمعانها إلى ٦ درجات سميت بالأقدار (magnitude) أو درجات اللمعان (brightness class) فأعطى ألمعهـا القدر "١" بينما أعطى أخفت ما يمكن رؤيته منها بالعين الـمجردة القدر "٦" . وفى القرن التاسع عشر عندما بدأ تعيين الأقدار تبعًا لقيـاسات ضوئية دقيقة وجد أن النجم من القدر "١" يبعث بطاقة مقدارها ١٠٠ مرة مثل تلك التى يبعث بها النجم من القدر السادس. فإذا رمزنا للفيض بالرمز F وللقدر بالرمز m ، فإن الفـرق فى m بمقدار ٥ أى (٦ - ١) يناظر تـغيرًا فى الفـيض بنسـبة ١ : ١٠٠ ، لذلك اتفق عـلى أن يكون الفرق بمقدار قدر واحد يناظر النسبة :

$$1 : \sqrt[5]{100} = 2.512$$

فى فيض الضوء الآتى مـن النجم مع ملاحظة أن القيمة الأكبـر فى اللمعان تناظر القدر الأصغر أى أن :

الفرق فى القدر	نسبة اللمعان
١	١ : ٢,٥١٢
٢	١ : ٦,٣١ = ١ : ^{٢}(٢,٥١٢)
٣	١ : ١٥,٨٥ = ١ : ^{٣}(٢,٥١٢)
٤	١ : ٣٩,٨٢ = ١ : ^{٤}(٢,٥١٢)
٥	١ : ١٠٠ = ١ : ^{٥}(٢,٥١٢)

ويمكن التعبير عن علاقة القدر بالفيض (أو الضياء) بالعلاقة البسيطة التالية:

$$m - m_2 = 2.5 \log \frac{F_1}{F_2} \qquad (8)$$

أو

$$\frac{F_2''}{F_1} = 10^{0.4(m_1 - m_2)}$$

$$= (2.512)^{m_1 - m_2} \qquad (9)$$

توجد أجرام كثيرة مثل الشعرى اليمانية والزهرة والشمس والقمر ألمع كثيراً من النجوم من القدر الأول ، لذلك استحدثت أقدار سالبة أو قيمتها صفر للأجرام الأكثر لمعانًا ، ولأن قدر النجم كما يتضح من (8) ، (9) يعرف بدلالة النسبة بين ضيائه وضياء نجم آخر ، فقد اختيرت مجموعة من النجوم فى مناطق السماء المختلفة لتكون مرجعًا لقياس غيرها من النجوم فى نفس المنطقة يسمى القدر الذى يقاس مباشرة « القدر الظاهرى » وذلك لأننا لم نأخذ بعد النجم فى الاعتبار ، فقد يكون أحد النجوم الخافتة ألمع كثيراً فى الواقع من نجم شديد اللمعان لكنه بدا خافتا لشدة بعده عنا .

ويلاحظ أن تعريف القدر كلما قلت قيمته كان النجم أكثر لمعانًا كما يتضح من الجدول (١) .

القدر المطلق :

لكى تكون مقارنتنا بين لمعان النجوم صحيحة لابد أن نضعها على نفس البعد قبل أن نجرى المقارنة . وقد اتفق على أن يكون هذا البعد ١٠ بارسك (البارسك Parsec) هو بعد النجم الذى يحصر عنده نصف قطر مدار الأرض حول الشمس زاوية مقدارها ١ً وهى تساوى (٣,٢٦ سنة ضوئية) ويسمى قدر

الجـــرم	القدر الظاهرى	القدر المطلق
الشمس	- ٢٦,٥	٤,٨
القمر	- ١٢,٥	٣١,٨
الشعرى اليمانية	-١,٥	١,٤
الزهرة (فى أقصى لمعانها)	- ٤	٢٨,٢
النسر الطائر (فى كوكبة العقاب)	,٧٧	(Altair) ٢,٢
حد العين البشرية	٦,٥	—
النسر الواقع (فى القيثارة)	,٠٤	(Vega) ,٥

جدول (١)

النجم على هذا البعد « بالقدر المطلق » فإذا كان القدر الظاهرى m وقدره المطلق M وبعده d فإن :

$$\frac{F_{10^\circ}}{F_1} = \frac{d^2}{100}$$

وبالتعويض فى (8)

$$\therefore m = M + 5 \log d - 5 \quad (10)$$

ويتضح تأثير المسافة على القدر بـمقارنة الأقدار المطلقة والظاهرية بجدول (١) . وتتراوح قيم الأقـدار المطلقة للنجوم العادية الـتى تم رصدها بين -١٠ و +١٤ ، وهى تناظـر فارقًا فى اللمـعان بنسـبة ١٠ : ١ . وقد جرت العـادة على مقارنة النجوم بلمعان الشمس .

نظم قياس القدر : (Magnitude systems)

يمكن تعريف نـظم مختلفة لقيـاس الأقدار تبعًا لطريقة الرصـد . ويختلف الصفـر المناظر لكل منـها . بمعنى اخـتلاف قيمـة الفيض F المناظر . بـمعنى اختلاف قيمة الفيض F للقدر صفر . وعلى سبيل الـمثال تسمى الأقدار المناظرة لمنطقة حساسية العين « الأقدار البصرية m » .

أما الألواح الفوتوغرافية فيمكن استخدامها فى أجزاء عديدة أخرى من الطيف ، وهى عادة أكثر حساسية فى الأزرق والبنفسجي ويسمى القدر فى هذه الحالة القدر الفوتوغرافى m_{pg} وهو يختلف عن m_v ويمكن استخدامها فى منطقة حساسية العين باستخدام مرشح أصغر وألواح حساسة فى الأصفر والأخضر ، والقدر الناتج فى هذه الحالة يسمى « فوتو بصرى » (Photovisual) m_{pu} ولو استطعنا قياس الإشعاع فى جميع الأطوال الموجية نحصل على ما يسمى القدر البوليومترى m_{bd} (bolometric) . وهذا من الأمور شديدة الصعوبة بسبب امتصاص جزء من الإشعاع فى الغلاف الهوائى ، ولأن الأطوال المختلفة تحتاج كشافات مختلفة . ويمكن حساب القدر البوليومترى من البصرى إذا علمنا التصحيح البولومترى Bc .

$$m_{bol} = m_v - Bc \qquad (11)$$

وتعريف التصحيح البوليومترى يعنى أن قيمته صفر للنجوم المماثلة للشمس (ذلك من الرتب الطيفية F5، وسيرد ذكر تلك الرتب فيما بعد) وتزداد قيمته كلما ازداد اختلاف توزيع الإشعاع عن طيف الشمس وهو دائمًا موجب سواء كانت النجوم أبرد من الشمس أو أسخن منها ، فمن البديهى أن يكون $m_v \geq m_{bol}$ وتكون قياسات الأقدار أكثر دقة باستخدام كشافات كهروضوئية (Photoelectric) . وعادة تستخدم مرشحات تسمح فقط لجزء معين من الطيف بالسقوط على الكشاف ، وبذلك تستخدم نظم متعددة الألوان أشهرها نظام UBV وفيه تستخدم ثلاثة مرشحات منفصلة فى المنطقة U (فوق البنفسجية) و B (الزرقاء) و V (المرئية) وقد استخدم مؤخرًا نظام أوسع (UBVRI) حيث أضيف إليه المناطق الحمراء وتحت الحمراء وكذلك نظام (uvby) حيث أضيف إليه الأصفر . لكن نظام UBV لا يزال الأوسع استعمالاً . وجدول (٢) يوضح مناطق حساسية المرشحات المستخدمة فى تلك الأنظمة .

جدول (٢) المناطق الموجية لمرشحات نظامى UBVRI
و uvby وأطوالها المؤثرة (المتوسطة)

القدر	المنطقة الطيفية	الطول الموجى المؤثر (nm)*
U	٤٠٠ - ٣٠٠	٣٤٠
B	٥٥٠ - ٣٦٠	٤٤٠
V	٦٨٠ - ٤٨٠	٥٥٠
R	٩٥٠ - ٥٣٠	٧٠٠
I	١٢٠٠ - ٧٠٠	٨٨٠
	** عرض المنطقة (uvby)	
u	٣٠	٣٥٠
v	١٩	٤١١
b	١٨	٤٦٧
y	٢٣	٥٤٧

** يلاحظ أن مناطق نظام uvby أضيق كثيراً منها فى النظام UBV

* $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$

$= 10\ \text{Å}$

المعاملات الضوئية : (Colour indices)

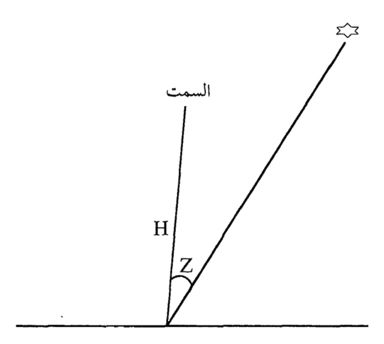
فى النظـم متعددة الألوان يـمكن استخـدام معامـلات ضوئية . والمـعامل الضوئى هـو الفرق بين قدرين ، فـفى نظام UBV من المتعارف علـيه استخدام المعاملات القدر البعدى V ($= m_2$) فقط والمعاملات U - B ، B - V . وقـد اختـيرت القيـمة القياسـية F المناظـرة للقدر صفر بـحيث تكون المعاملات U - B ، B - V صفراً للنجوم من الرتبة الطيفية Ao . أما الشمس فإن U - B = 0.10 و B - V = 0.66 و V (= m) = -26 . 8 .

٤ - ٥ تأثير الغلاف الهوائى ووسط ما بين النجوم :

يتسبب الغـلاف الهوائى ووسط ما بين النجوم (من غاز وأتـربة وغيرهما) فى همود الإشعـاع المار من خلاله بل ويمنـع بعضها من اختـراقه والوصول إلى سطح الأرض . وجـدول (٣) يوضح مدى الارتفـاع الذى يمكن أن تـصله أنواع الإشعاع المختلفة ويلخص عمليات الامتصاص أو التشتت التى تتعرض لها .



ونتيجة لعمليات الامتصاص والتشتت هذه يتغير القدر مع المسافة التى يقطعها الإشعاع خلال الغلاف الجوى ، وهذه تعتمد على موقع الراصد والبعد السمتى للجرم السماوى ، لذا يجب قبل مقارنة الأقدار المختلفة تصحيحها لتأثير الغلاف الهوائى .



شكل (٦) تغير المسافة خلال الغلاف الجوى مع المسافة السمتية Z

إذا لم تكن المسافة السمتية كبيرة (أكبر من ٧٠) يمكن اعتبار الغلاف الهوائى طبقة مستوية ثابتة السمك . وفى هذه الحالة (شكل ٦) يقطع الإشعاع القادم فى اتجاه Z مع الرأس مسافة $X = H \sec Z$

وحيث إن H ثابتة يمكن اعتبارها مساوية للوحدة فتصبح

$$X = \sec Z \qquad (12)$$

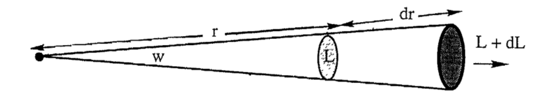
وتسمى X أو ($\sec Z$) كتلة الهواء (air mass) .

ولتعيين التغير فى الضياء مع المسافة التى يقطعها الضوء خلال أى وسط مادى ، ليكن الضياء المنبعث من أحد النجوم فى الزاوية المجسمة w مقداره L_0، وتغير خلال المسافة r ليصبح L ، ثم تغير بمقدار dL بتغير فى المسافة مقداره

جدول (٣) الامتصاص بواسطة الهواء والعمق الذى تصل إليه الموجات الكهرومغناطيسية

الطول الموجى بالأمتار	المسمى المعتاد	الارتفاع الذى تصل إليه	وسيلة الامتصاص
الطاقات أكبر من ١٠٠ ألف مليون الكترون فولت	أشعة جاما فوق المادة	٤٠ كم	عمليات ذرية تكتشف من على الأرض بصورة غير مباشرة عن طريق رخات من الجسيمات تحت الذرية .
10^{-13} – 10^{-12}	أشعة جاما تزيد طاقاتها عن القليل من ملايين الإلكترون فولت	٤٠ كم	انتاج الثنائيات حيث تتلاشى أشعة جاما باقترابها من أحد الأنوية وينتج الكترون وبوزترون .
10^{-11} – 10^{-10}	أشعة جاما منخفضة الطاقة وأشعة X الحادة جداً	٤٠ كم	تشتت "كوبنتون" تطرد الفوتونات الكترونا من إحدى ذرات الهواء وتفقد بعض طاقتها فتتحول لطول موجى أكبر .
10^{-9} 10^{-8}	أشعة X الحادة أشعة X اللينة	٧٠-١٠٠ كم ١٥٠ كم	التأثير الكهروضوئى حيث تنتقل طاقة النوترون لأحد الالكترونات وتطرده من ذرته .
10^{-7} – 3×10^{-7}	الأشعة فوق البنفسجية	٥٠-١٠٠ كم	تحلل وتأين جزيئات الهواء .
4×10^{-7} – 7×10^{-7}	الضوء المرئى	—	لا يمتص لكنه يتشتت وتضعف الصورة .
10^{-6} 10^{-5} 10^{-4} 10^{-3}	تحت الحمراء القريبة تحت الحمراء تحت الحمراء البعيدة	- ٥ - ١٠ كم	الامتصاص بثانى أكسيد الكربون وبخار الماء .
10^{-2} 10^{-1} ١	مليمترية ميكروويف		تتغير النافذة الراديوية مع حالة الأيونوسفير وهو بدوره يعتمد على قدر النشاط الشمسى .
10 10^{2} 10^{3} 10^{4} وأكثر	الموجة القصيرة الموجة المتوسطة الموجة الطويلة والطويلة جداً	٩٠-٥٠٠ كم	تنعكس الموجات الراديوية مرة أخرى للفضاء بواسطة الأيونوسفير

dr فيكون dL هو التغير فى الضياء نتيجة للبعد وهو يسمى « الهمود أو الخمود » ويمثل النقص فى مجموع الإشعاع الواصل نتيجة لعمليات الامتصاص والتشتت أثناء مروره خلال الوسط المادى .



شكل (٧)

و dL تتناسب مع الضياء L ومع المسافة خلال الوسط المادى ، أى أن :

$$dL = - \propto L\, dr = - L d\tau \qquad (13)$$

يسمى المعامل $\propto$ « العتامة » أما τ فيسمى « السمك البصرى »

ومن الواضح أن : فى الفراغ الكامل $\alpha = 0$

وسط كامل العتامة $\alpha = \infty$

من (13) نجد أن

$$L = L_0\, e^{-\tau} \qquad (14)$$

ولو كان الفيض على سطح النجم F_0 ، وكان $F(r)$ على بعد r وكان R نصف قطر النجم يصبح :

$$L = wr^2\, F(r) \qquad\qquad L_0 = wR^2\, F_0$$

وبالتعويض فى (14) يكون

$$F(r) = F_0 \frac{R^2}{r^2} e^{-\tau}$$

فإذا كان m هو القدر ، M هو القدر المطلق فإن معامل المسافة $m - M$ يعطى بالعلاقة :

$$m - M = - 2.5 \log \frac{F(r)}{F(10)}$$



أو

$$m - M = 5 \log r - 5 + A \qquad (15)$$

حيث A ≤ صفر . الهمود فى القدر بتأثير الوسط ما بين النجم والراصد ، إذا كانت العتامة ثابتة على امتداد الوسط تصبح

$$A = 2.5 \log c\,\tau$$

$$= ar \qquad (16)$$

حيث $a = 2.5\,\alpha \log c$ قيمة الهمود فى القدر لوحدة المسافة ويسمى معامل الهمود فى هذه الحالة تصبح (15)

$$m - M = 5 \log r - 5 + ar$$

من المعادلة (15) ، إذا كان m_o هو القدر المصحح لتأثير الغلاف الهوائى فإن :

$$m = m_o + kx \qquad (17)$$

حيث $x = \sec Z$ هى كتلة الهواء و K معامل الهمود .

الزيادة اللونية : Colour excess

حيث إن اللون الأزرق أكثر تشتتًا وامتصاصًا من اللون الأحمر ، يؤدى ذلك إلى احمرار الضوء الواصل من الأجرام السماوية بتأثير الوسط ما بين النجوم ، بهذا يزداد المعامل الضوئى B - V ويسمى الفارق .

$$(B - V) - (B - V)_o = c - E \qquad (18)$$

« الزاوية اللونية » حيث $(B - V)_o$ هو اللون الذاتى للنجم أو الجرم السماوى .

٤ - ٦ الإشعاع وانبعاثه :

ينبعث الإشعاع من الذرات أو الجزيئات إذا انتقلت من مستوى للطاقة إلى مستوى آخر ، فإذا نقصت طاقة الذرة بمقدار ΔE ينبعث منها كمية من الإشعاع الكهرومغناطيسى تسمى فوتون ذبذبتها ν تعطى بالعلاقة

$$\Delta E = h\,\nu$$

حيث h هو ثابت بلانك . كـذلك إذا امتصت الذرة فوتـونًا ذبذبته ν تزداد طاقتها بمقدار $\Delta E = h\nu$.

والإشعاع الكهرومغنـاطيسى ينتشر فى صورة موجات مستـعرضة تشبه تلك الناتجة من إلقاء حجر فى ماء ساكن . ويتـذبذب المجالان الكهربى والمغناطيسى المصاحبان للموجه بالتعامد مع بعضهما ومع اتجاه تقدم الموجة .

ومستوى طاقة الذرة يرجع لمستـوى طاقة الكتروناتها . وطاقة الإلكترون E لا يمكن أن تتخذ أى قيمة ، فمستويات الطاقة مستويات كمية ، فإذا كان مستوى الطاقة الأول للذرة i، والمستوى الثانى j ، يكون الانبعاث الناتج بذبذبة ν_{ij} حيث

$$| E_i - E_j | = h \nu_{ij}$$

ويكون الطيف الناتج طيفًا خطيًا مميزًا لكل عنصر .

وفى درجات الحرارة المنخفضة تـكون معظم الذرات فى المستوى الأرضى للطاقة وتسمى مسـتويات الطاقة الأعلى مستويات مستثـارة ، ويسمى الانتقال من مسـتوى طاقـة أقل لمسـتوى أعلى « اسـتثارة » . وعـادة تعود الذرة الـمستـثارة للمـستوى الأقل بسـرعة شديدة مـع انبعاث فـوتون حيث تسـمى هذه العمـلية « الانبعاث التلقائى » (Spontaneous emission) .

وفترة عمر الحالة المستثارة حوالى $١٠^{-٨}$ ثانية . وقد تعـود الذرة لمستوى الطاقة الأقل مـباشرة أو من خلال عدة انتـقالات وسيطة ينبعث فـوتون خلال كل منها .

٤ - ٧ الطيف الذرى والطيف الجزيئى :

تحدد الإلكـترونات مستـويات الطاقة فى الـذرة ويسمى الطيف الـناتج من الانتقال بين مستويات الطاقة المختلفة « الطيف الذرى » .

أما فى حالة الجزيئات فتوجد احتمالات كثيرة ، فالذرات يمكن أن تتذبذب حول مواقع اتزانها ، بينما يمكـن أن يدور الجزىء حول محور ما ، وطاقات كل



من الذبذبة والدوران طاقات كمية . والانتقال بين مستويات الطاقة التذبذبية ينتج إشعاعًا فى المنطقة تحت الحمراء ، بينما تنبعث فوتونات فى منطقة الميكروويف نتيجة الانتقال بين مستويات طاقة الدوران . وهذه الانبعاثات مضافة إلى تلك الناتجة من انتقال الإلكترونات تكون حزما مميزة للطيف الجزيئى ، فيظهر هذا الطيف فى صورة حزم رقيقة مكونة من عدد كبير من الخطوط الطيفية .

٤ - ٨ الطيف المستمر :

تتسبب بعض العوامل مثل الحركة الحرارية للذرات فى زيادة عرض الخطوط الطيفية ، فإذا كانت هذه الخطوط كثيرة ومتقاربة يبدو الطيف مستمرًا ، ويصعب التفريق بين الخطوط المكونة له ، ويمكن تلخيص العمليات المنتجة للطيف المستمر فى :

١ - الانتقال الحر - المقيد ، حيث إن طاقة الإلكترون الحر ليست كمية .

٢ - الانتقال الحر - الحر .

٣ - الانتقال المقيد - الحر .

٤ - طيف الغازات الساخنة المضغوطة .

٥ - كذلك يتسبب المجال الكهربى فى زيادة عرض خطوط الطيف فيبدو مستمراً . ونفس الظاهرة تحدث فى السوائل والمواد الصلبة لزيادة التقارب بين الذرات .

٤ - ٩ إشعاع الجسم الأسود :

يعرف الجسم الأسود بأنه جسم لا يعكس ولا يشتت ما يسقط عليه من ضوء بل يمتصه كله ثم يعيد إشعاعه من جديد . هذا الجسم وإن لم يكن له وجود فى الحقيقة إلا أن كثيراً من الأجسام تتصرف بدرجة كبيرة كما لو كانت أجسامًا سوداء .

ويعتمد إشعاع الجسم الأسود فقط على درجة حرارته ، ويخضع توزيع أطواله الموجية لقانون « بلانك Planck » ، فتعطى شدة الإشعاع الذى ذبذبته ν بالعلاقة :

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{C^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kt}\right) - 1} \qquad (19)$$

حيث

$h = 6.63\ 10^{-34}$ Joule (ثابت بلانك)

$C = 3\times 10^{8}$ m / sec (سرعة الضوء)

$K = 1.38\times 10^{-23}$ J / k^{-1} ثابت بولتزمان

ويمكن بمكاملة المعادلة (19) إيجاد صيغة للفيض (كم الإشعاع الصادر من وحدة المساحات فى جميع الاتجاهات) وهى تسمى قانون ستيفان بولتزمان .

$$F = \sigma T^4 \qquad (20)$$

حيث σ ثابت ستيفان بولتزمان = $5.67 \times 10^{-s}\ wm^{-2}\ k^{-4}$

فإذا كان النجم يشع كجسم أسود يصبح ضياؤه

$$L = 4\,\Pi\, R^2\, \sigma\, T^4 \qquad (21)$$

ويمكن إيجاد الطول الموجى المناظر لأكبر شدة إشعاع بمفاضلة قانون بلانك ومساواة الناتج بالصفر فنحصل على قانون « فيز » للإزاحة .

$$\lambda_{mex}\, T = b \qquad (22)$$

حيث b ثابت فيز للإزاحة ويساوى 0.0028978 km .

٤ - ١٠ أطياف النجوم :

تصنف النجوم تبعًا لأطيافها طبقًا لأحد تصنيفين أساسيين ، تصنيف هارفارد Harvard وهو مبنى على خطوط حساسة أساسًا لدرجة الحرارة أكثر من ضياء النجم أو تثاقله ، وتصنيف « ييرك » Yerk وهو يأخذ الضياء فى الاعتبار إضافة لدرجة الحرارة. وسنكتفى بشرح موجز لتصنيف هارفارد حيث إنه الأكثر استخدامًا فى الوقت الحالى .

أهم الخطوط المستخدمة فى هذا التصنيف هى خطوط « بالمر » فى طيف الهيدروجين وخطوط الهليوم المتعادل والحديد وخطا الكالسيوم المتأين عند ٣٩٦,٨ و ٣٩٣,٣ نانومتر وخطوط أخرى للكالسيوم وأكسيد التيتانيوم وجزىء CH .

والأصناف الأساسية فى هذا التصنيف مـرتبة بحيث تقل درجة الحرارة تجاه الجهة اليسرى من المتتابعة وهى :

$$O - B - A - F - G - K - M^{C}_{S}$$

ويضاف إليها Q للنجوم الـبراقة (Nova) و P للسدم الكوكـبية و W لنجوم « ولف رايت » . والصنف C يشتمل على كل من الصنفين N , R اللذين كانا يستخدمان قديمًا .

وتقســم الأصناف السابـقة داخليًـا إلى أقسام مــن صفر إلى ٩ وفــى بعض الأحيان تستخدم الكسور العشرية . وتندرج الشمس تحت الصنف G2 .

وجدول (٤) يـلخص الصـفات الأسـاسيـة لأطياف الـنجوم مــن الأصناف المختلفة فى تصنيف هارفارد وبعض أمثلتها .

النجوم الشاذة :

تختلف أطياف بعض النجوم عن المتوقع تبعًا لحرارتها وضيائها تسمى تلك بالنجوم الشاذة ويمكن إيجازها فيما يلى :

١ - نجـوم ولف رايت ، وهى نجـوم ساخنة جـدًا تتمـيز بخطـوط طيف انبعـاث عريضة لعـناصر الهيـدروجين والهليـوم المتأين والـكربون والنيتـروجين والأكسجين .

٢ - يوجد فى خطوط امتصاص الهيدروجين فى بعض النجوم من الصنفين O ، B مركبات انبعاث ضعيفة ، إما فى مركز خط الامتصاص أو عند أجنحته . تسمى تلك نجوم Be ونجوم الأغلفة حيث تتكون خطوط الانبعاث هذه فى أغلفة غازية تحيـط بالنجم. وتمثل تلك النـجوم حوالى ١٥ ٪ من مجمـوع النجوم من الصنفين O ، B .

٣ - أما النجوم الشاذة من صنف A وتسمى Ap فهى نجوم شديدة المغنطة تنقـسم الخطوط فـيهـا لمركبـات عديدة ، وتبـدو خطوط بعـض العناصر مـثل الماغنسيوم والسليكون شديدة بدرجة غير عادية فى أطياف تلك النجوم .

جدول (٤) التصنيف الطيفى (هارفارد)

الصنف	اللون	درجة الحرارة السطحية(^{o}k)	الملامح الأساسية	أمثلة
O	أزرق	٢٠ ألف إلى ٣٥ ألف	خطوط امتصاص قليلة نسبيا وخطوط أقوى لعناصر شديدة التأين. تظهر خطوط الهيدروجين ضعيفة .	النجم العاشر فى كوكبة السحلية (Lizard) .
B	أزرق – أبيض	١٥٠٠٠	خطوط الهليوم المتعادل – خطوط السليكون والأكسجين والماغنسيوم المتأينة ، خطوط الهيدروجين أقوى منها فى الصنف ٥ .	رجل الجبار – السنبلة (السماك الأغزل) .
A	أبيض	٩٠٠٠	خطوط الهيدروجين قوية – خطوط بعض الغلزات المتأينة كما ترى خطوط بعض الغازات المتعادلة ضعيفة .	الشعرى اليمانية– النسر الواقع .
F	أبيض – أصفر	٧٠٠٠	خطوط الهيدروجين أضعف من صنف A لكنها لا تزال واضحة خطوط فلزات متأينة ومتعادلة .	نجم سهيل – الشعرى الشامية.
G	أصفر	٥٥٠٠	أوضح الخطوط هى خطوط الكالسيوم المتأينة–خطوط عديدة لفلزات متأينة ومتعادلة–خطوط الهيدروجين أضعف منها فى صنف F.	الشمس نجم العنز
K	برتقالى– أصفر	٤٠٠٠	تسود خطوط الفلزات المتعادلة .	السماك الرامح – الثور
M	أحمر	٣٠٠٠	تسود خطوط قوية للفلزات المتعادلة وحزم أكسيد التيتانيوم الجزيئية .	قلب العقرب منكب الجوزاء
C (R,N)	شديدة الاحمرار	٣٠٠٠	طيف جزيئى قوى وبعض الخطوط الطيفية مثل تلك الموجودة فى الصنفين K و M .	
S	حمراء	أقل من ٣٠٠٠	طيف جزيئى مثل أكسيد الزكونيوم وأكسيد التيتانيوم .	

٤ - توجد فـي الصنف A نجوم أخرى تسمى Am أقل شذوذًا فى طيفها من Ap إلا أن أطياف العناصر الأرضـية النادرة والعناصر الثقيلة أشـد من المعتاد بينما تقل شدة خطوط الكالسيوم والإثانديوم .

٥ - يوجد صنـف آخر شاذ من النجـوم العمالقـة تسمى نجـوم الباريوم ، حيث تزداد فـيها شدة خطـوط الباريوم والترونشيوم والعناصر الأرضـية النادرة ، وكذلك بعض مركبات الكربون .

٤ - ١١ شكل هرتزسبرونج وراسل :

هو علاقة بين لمعان النجم ودرجة حرارته (أى صنفه الطيفى تبعًا لتصنيف هارفارد) وكما هو موضح فى الشكل (٨) يتبـين أن النجوم لا تتوزع عشوائيًا بل فى مجموعات يمكن إيجازها كالآتى :

١ - أغلبيـة النجوم تقع فى تـتابع ضيق يبـدأ أعلى يسار الشكـل (النجوم الساخنة اللامعة) ويمتد إلى أسفل يمين الشكل (النجوم الباردة الأقل لمعانًا) . ويسمى هذا « التتابع الرئيسى » .

والعامل الرئيسى الـذى يحدد موقع النجم على التتابع الرئيـسى هو كتلته ، فالأكبـر كتلة هو الأسخـن والأكثر لمعـانًا ، وجدول (٥) يلخص سمـات نجوم التتابع الرئيسى .

جدول (٥) سمات نجوم التتابع الرئيسى

الصنف الطيفى	الكتلة (الشمس= ١)	اللمعان (الشمس = ١)	درجة الحرارة $c^{o}k$	نصف القطر (الشمس= ١)
O5	٤٠	١٠ × ٥	٤٠٠٠٠	١٨
BO	١٦	١٠ × ٢	٢٨٠٠٠	٧
AO	٣,٣	٨٠	١٠٠٠٠	٢,٥
FO	١,٧	٦	٧٥٠٠	١,٤
GO	١,١	١,٣	٦٠٠٠	١,١
KO	٠,٨	٠,٤	٥٠٠٠	٠,٨
MO	٠,٤	٠,٠٣	٣٥٠٠	٠,٦

٢ - يقع عدد كبير من النجوم أعلى يمين الشكل (النجوم الباردة اللامعة) تسمى هذه النجوم « فوق العمالقة » ويقع أسفلها مجموعة أخرى تسمى العمالقة.

٣ - يقع أسفل يسار الشكل نجوم (ساخنة قليلة اللمعان) تسمى الأقزام البيض .

٤ - فى المنطقة القريبة من الشمس يقع حوالى ٩٠ ٪ من النجوم على التتابع الرئيسى ، بينما ١٠ ٪ أقزام بيض وأقل من ١ ٪ عمالقة أو فوق العمالقة .

٥ - تتراوح أقطار النجوم على التتابع الرئيسى بدءًا من الصنف M حتى الصنف O بين ١ ٪ إلى ١٠ - ٢٠ مرة مثل قطر الشمس . أما العمالقة فقد يزيد قطرها عن ١٠٠ مرة قدر قطر الشمس ، بينما يقل قطر الأقزام البيض عن $\frac{١}{١٠٠}$ من قطر الشمس .

٦ - تقع الشمس على التتابع الرئيسى وصنفها G2 .

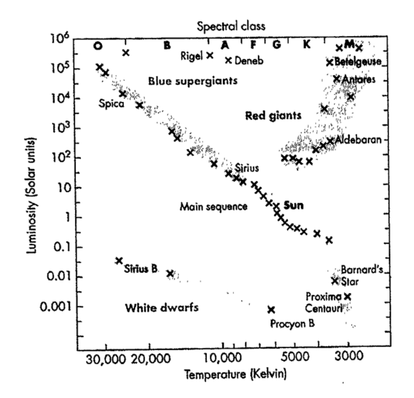
٧ - العمالقة والأقزام كانت يومًا من نجوم التتابع الرئيسى ثم تركته لما تقدم بها العمر.

٤-١٢ أجواء النجوم :

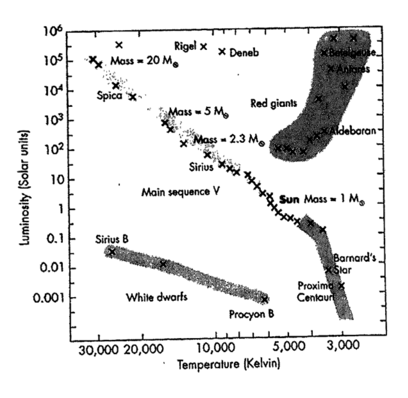
تتكون أجواء النجوم من تلك الطبقات التى يتولد فيها الإشعاع الذى ينتقل مباشرة إلى الراصد . لذا فمن المطلوب المقدرة على حساب تركيب جو النجم والإشعاع الخارج منه حتى يكون بمقدورنا تفسير طيف النجم تفسيرًا صحيحًا . ومثل هذا الحساب يتعقد كثيرًا بتأثير دوران النجم ومجاله المغناطيسى . وليس هنا مجال الإسهاب فى هذه العملية شديدة التعقيد . كل ما نود الإشارة إليه هو أن حساب نموذج لجو نجم يعنى تعيين العوامل الفيزيائية المختلفة مثل الضغط ودرجة الحرارة والكثافة ودرجة التأين كدوال فى السمك الضوئى $\mathcal{T}$. وهو ما يمكن من الربط بين ما يصلنا من إشعاع وبين الإشعاع الصادر من الطبقات الداخلية من جو النجم أو من باطنه .

٤-١٣ قياس الحرارة :

تتفاوت درجات حرارة الأجسام الفلكية مما يقارب الصفر المطلق إلى



شکل (۸) شکل هرتزسبرونج ورسل



شکل (۹) شکل هرتزسبرونج وراسل

ملايين الدرجات . ولدرجات الحرارة تعريفات مختلفة لا تتفق إلا فى وجود حالة من الاتزان الديناميكى الحرارى ، وحيث إن معظم الأجسام التى تدرسها الفيزياء الفلكية لا تستوفى هذا الشرط فلا يمكن تحديد درجة حرارة واحدة لها . وتعين درجة حرارة أى جسم باعتباره جسمًا أسود مع حذف تأثير الخطوط الطيفية . وبذلك يمكن تعريف درجات الحرارة الآتية :

١ - درجة الحرارة الفعالة : (Effective T)

درجة حرارة جسم أسود يشع نفس الإشعاع الكلى الذى يشعه الجسم . وتحسب من قانون ستيفان - بولتزمان .

٢ - درجة الحرارة اللونية (Colour T)

هى حرارة النجم التى يتم تعيينها باستخدام شدة الإشعاع عند طولين موجيين (أو لونين) أو أكثر .

٣ - درجة الحرارة الإشعاعية (Brightness or Radiation T)

هى درجة حرارة جسم أسود يشع نفس قدر الطاقة التى يشعها الجسم فى منطقة طيفية معينة .

٤ - درجة حرارة الاستثارة (Exitation T)

هى درجة الحرارة المقدرة من الشدة النسبية لخطوط الطيف ، والتى تشعها ذرات فى درجات استثارة مختلفة .

٥ - درجة حرارة التأين (Ionization T)

هى درجة الحرارة المقدرة من الشدة النسبية لخطوط الطيف الناتجة من ذرات فى درجات تأين مختلفة .

٦ - درجة الحرارة الحركية : (Kinetic T)

هى قياس لسرعات الجزيئات (أو متوسط طاقة حركتها) وهذا القياس هام فى الطبقات الخارجية لأجواء الكواكب .

٤ - ١٤ ماذا عن نتائج الأرصاد ؟ :

فيما يلى نوجز الأسس العامة لتعيين خصائص النجوم باستخدام الأرصاد .

الكتلة :

تعين كتل النجوم المزدوجة من دراسة ديناميكية الحركة وهو ما سنعطى بعض تفصيله فى الفصل السادس . وقد أوضحت نتائج الأرصاد وجود علاقة بين الكتلة M والضياء L تسمى « علاقة الكتلة والضياء » . وهى تبين كالآتى :

للنجوم الثقيلة (أكبر من ٣ أمثال الشمس)

$$L \alpha M^3$$

للنجوم الخفيفة (أقل من ١/٢ كتلة الشمس)

$$L \alpha M^{2.5}$$

وأصغر كتل النجوم التى تم رصدها حوالى ١/٢٠ من كتلة الشمس ، وتقع فى الجزء الأسفل الأيمن من شكل H.R ، بينما تقل كتلة القزم الأبيض عن كتلة الشمس . وتتراوح كتل النجوم الأكثر ثقلاً على التتابع الرئيسى وفى النجوم فوق العملاقة بين ١٠- ٥٠ مثل كتلة الشمس .

نصف القطر :

تعين أنصاف الأقطار من رصد نصف القطر الزاوى والمسافة ، أما فى المزدوجات الكسوفية (التى يختفى فيها كل من النجمين خلف الآخر أثناء الحركة) فيمكن تعيين نصف القطر مباشرة من المعلومات المدارية وخصائص الكسوف . أما فى الحالات الأخرى فيستخدم الضياء ودرجة الحرارة الفعالة . وتتفاوت أنصاف أقطار النجوم بدرجة كبيرة فتقل فى الأقزام البيض عن ١/١٠ من نصف قطر الشمس ، بينما تصل النجوم فوق العمالقة الكبيرة لعدة آلاف نصف قطر الشمس .

الكثافة :

يسبب التفاوت الواسع فى أنصاف أقطار النجوم تفاوتًا فى كثافتها حتى أنها قد تقل فى العمالقة إلى ١٠-٤ كجم / م٣ بينما تصل كثافة الأقزام البيض لحوالى مليون طن / م٣ .

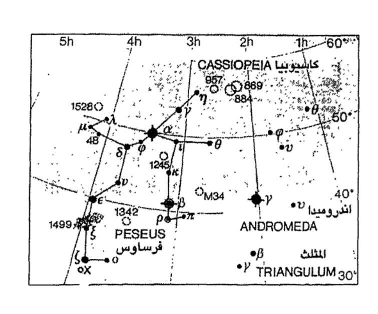


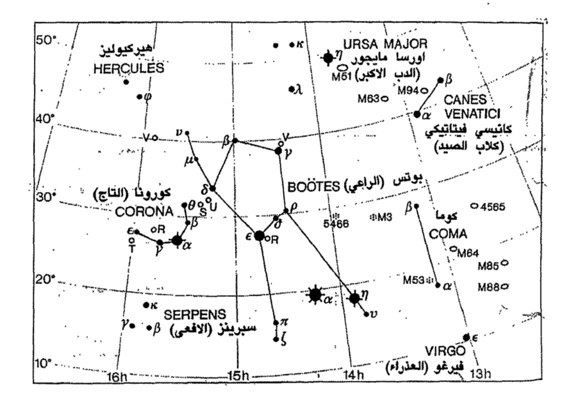
سرعات الدوران :

تظهر سرعات الدوران فى زيادة عرض الخطوط الطيفية نتيجة إزاحة دوبلر الناتجة من اقتراب إحدى حافتى النجم وابتعاد الأخرى ، وتظهر الأرصاد أن النجوم الأسخن تدور أسرع من الأبرد، وتتراوح سرعة الدوران عند خط الاستواء ما بين ٢٠٠ - ٢٥٠ كم/ث للنجوم من الصنفين O و B إلى حوالى ٢ كم / ث للصنف . بينما تصل فى نجوم الأغلفة إلى ٥٠٠ كم / ث .

التركيب الكيميائى :

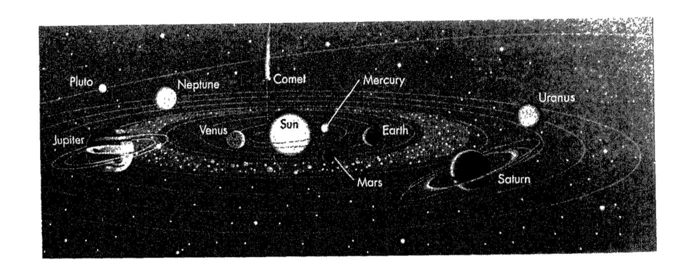
يستنبط تركيب الطبقات الخارجية من شدة خطوط الطيف . وعادة ما يكون الهيدروجين حوالى ٧٥ ٪ من كتلة النجم والهليوم حوالى ٢٥ ٪ أما بقية العناصر فنسبتها قليلة جداً . وتبلغ نسبة العناصر الثقيلة فى النجوم اليافعة حوالى ٢ ٪ من كتلتها وهى تزيد كثيراً عن نسبتها فى النجوم القديمة حيث لا تزيد عن ٠٢ , ٪ .


CASSIOPEIA كاسيوبيا
PESEUS
فرساوس
ANDROMEDA
اندروميدا
المثلث
TRIANGULUM


هيركيوليز
HERCULES
URSA MAJOR
اورسا مايجور
(الدب الاكبر)
CANES
VENATICI
كانيسي فيناتيكي
(كلاب الصيد)
BOÖTES (الراعي) بوتس
كورونا (التاج)
CORONA
كوما
COMA
SERPENS
سبرينز (الافعى)
VIRGO
فيرغو (العذراء)

الفصل الخامس

المجموعة الشمسية



تضم المجموعة الشمسية نجمًا مركزيًا هو الشمس وتسعة كواكب وعشرات من الأقمار وآلاف من الكويكبات ، بالإضافة لأعداد وافرة من المذنبات والشهابيات والبحث جار عن كوكب عاشر تشير الحسابات المدارية لوجوده .

٥ - ١ نظرة عامة :

يمكن تقسيم الكواكب من الناحية الفيزيائية إلى مجموعتين ، تضم الأولى كلا من عطارد والزهرة والأرض والمريخ وتسمى « الكواكب شبيهة الأرض » . أما المجموعة من المشترى وحتى نبتون فتسمى « شبيهة المشترى » أو السيارات العظمى » بينما يمثل بلوتو حالة فريدة تختلف عن هذا التصنيف .

وتشترك الكواكب شبيهة الأرض فى الخصائص العامة التالية :

١ - صغيرة الحجم والكتلة مقارنة بالسيارات العظمى حيث تتراوح أنصاف أقطارها بين ٢٤٣٩ (عطارد) و ٦٣٧٨ كيلو متر (الأرض) . ولا تتعدى كتلة عطارد ٥٥٣ ،٠ من كتلة الأرض .

٢ - درجات حرارتها عالية نسبيًا لقربها من الشمس، وساعد هذا على عدم احتفاظها بالغازات الخفيفة مثل الأيدروجين .

٣ - المسافات بينها وبين الشمس قريبة نسبيًا .

٤ - نتيجة لصغر كتلها وارتفاع حرارتها هربت أجواؤها الأصلية بالكامل .

٥ - كثافتها عالية لتخلصها من الغازات الخفيفة (متوسط كثافة المريخ ٣,٥ جم / سم^3 والأرض ٥,٤ جم / سم^3) .

٦ - لها أسطح صلبة حيث بردت مبكرًا لصغر كتلها .

أما الكواكب شبيهة المشترى فتختلف اختلافًا بينًا عن الكواكب الأرضية . فأقمارها عديدة وهى عوالم قائمة بذاتها ، بل إن بعض تلك الأقمار فى حجم

عطارد ، والبيئة فوق أسطحها تختلف تمامًا ، فلها مدارك تطور مختلفة وهى تضىء نقاطًا أخرى فى تاريخ تطور المجموعة الشمسية فهى عوالم بدائية تبدو بدرجة كبيرة كمظهرها حين نشأتها ، وتركيبها الداخلى يشبه الشمس بدرجة كبيرة؛ فالأيدروجين يمثل أكثر من ٧٧ ٪ من تركيبها ، بينما يمثل الهليوم ٢٢ ٪ والباقى آثار من الماء والميثان والأمونيا مع قليل من مادة الصخور . ويمكن إيجاز خواصها العامة فى :

١ - كبيرة فى الحجم والكتلة (أصغرها يورانوس = ١٤ مرة قدر كتلة الأرض بينما المشترى = ٣١٨ مرة) .

٢ - باردة لدرجة كبيرة لبعدها الكبير عن الشمس (٥,٢ - ٣٠,١ وحدة فلكية) .

٣ - تحتفظ بالغازات الخفيفة كالهيدروجين ، ولذلك فكثافتها صغيرة (١,٦ جم / سم^{3} لنبتون و ٠,٧ جم / سم^{3} لزحل) .

٤ - ليس لها أسطح صلبة لبطء برودتها نتيجة لكبر كتلها .

٥ - تدور حول محورها بسرعة كبيرة ، ولذلك لها مجالات مغناطيسية كبيرة (٩,٩ جاوس للمشترى إلى ١٧,٢ جاوس ليورانوس) .

٦ - لها حلقات تدور حولها بالإضافة للأقمار وهى كثيرة العدد (للمشترى ١٦ قمرًا) .

٧ - المسافات بينها كبيرة (تتوزع على حوالى ٢٥ وحدة فلكية ، بينما تتوزع شبيهة الأرض على ١,٥ وحدة فلكية) .

٨ - عاكسيتها عالية لكثافة أغلفتها الجوية .

٩ - تشع من داخلها قدرًا كبيرًا من الطاقة حيث ما زالت فى مرحلة الانكماش التثاقلى لكبر كتلها (المشترى مثلاً يشع ضعف ما يستقبله من الشمس).

١٠ - تتشابه كثيرًا فى أغلفتها الجوية وتركيبها الداخلى .

٥ - ٢ نسق الكواكب : (Configurations)

تسمى الكواكب التى تقع مداراتها خارج مدار الأرض (المريخ - المشترى زحل - يورانوس - نبتون - بلـوتو) الكواكب العلوية (Superior Planets)، بينـما تسـمى تلك الـتى تقع مـداراتها داخـل مدار الأرض (عطـارد - الزهرة) الكواكب السفلية (Inferior Planets) .

١ - الاستطالة (E) :

هى الزاوية (P⊕S) عند الأرض بين اتجاه الكواكب واتجاه الشمس (شكل (١)) ، وهى تسـاوى الفرق بين الطـول السماوى لـلكواكب والطول السـماوى للشمس . وتسمى الاستطالة شرقية أو غربية حسبما يُرى الكوكب إلى الشرق من الشمس أو إلى الغرب منها .

ويمثل الـكوكب « نجمًا مسـائيًا » يغرب بعـد الشمس إذا كانت استـطالته شرقـية ، أما رذا كانـت استطالتـه غربية فـإنه يُرى فى الصبـاح ويسمى « نجـمًا صباحيًا» . وأقصى استطالة (شرقًا أو غربًا) تبلغ ٢٨ْ لعطارد و ٤٧ْ للزهرة .

٢ - زاوية الطور (α) :

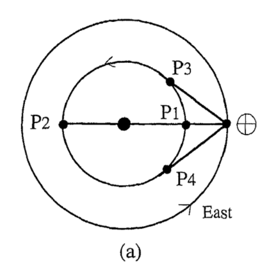
هى الزاوية SP ⊕ عند الـكواكب بين اتجـاه الشمس واتـجاه الأرض . (شكل ١ b) وهى تتراوح بين صفر ، ١٨٠ْ للكـواكب السفلى . لذا يمكن رؤية أوجه لعطارد والزهرة مشابهة لأوجه القمر فنرى القرص كاملاً أو نرى نصفه . أما الكواكب العلوية فقيم α لها محدودة وأقصى قيمـها ٤١ْ للمريخ و ١١ْ للمشترى و٢ْ لبلوتو .

٣ - الاستقبال (Opposition) :

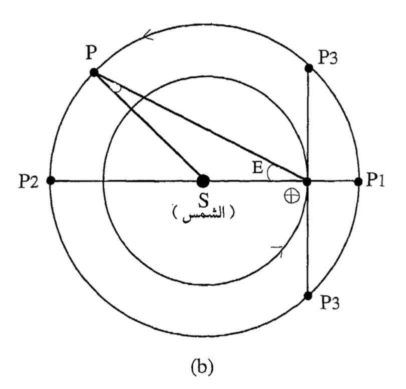
عندما تـقع الأرض مباشرة بين كـوكب علوى وبين الشمـس يُرى الكوكب على الـكرة السمـاوية فى عكس اتجـاه الشمـس ، ويقال أن الكوكـب فى وضع استقبال (الوضع P_1 فى شكل ١ b). فى هذه الحالة يشرق الكوكب مع غروب الشمس ويظل فوق الأفـق حتى يغرب مع شروقها . وفى وضع الاسـتقبال تكون الاستطالة ١٨٠ْ بينما تكون زاوية الطور صفراً .

ومن الواضح أن الكواكب السفلية لا يمكن أن تقع فى وضع الاستقبال .





(a)



(b)

شكل (١)

نسق الكواكب (a) كوكب سفلى ، (b) كوكب علوى

٤ - **الاقتران** (Conjunction) :

هو الوضع الذى يكون فيه الكوكب العادى خلف الشمس (الوضع P_2 فى الشكل ١ b) ، وهو لا يمكن أن يُرى فى هذا الوضع . أما بالنسبة للكواكب السفلية فيقال أن الكواكب فى وضع اقتران سفلى إذا وقع الكوكب بين الأرض والشمس (P_1 فى الشكل ١ a) ، فإذا وقع خلف الشمس فإنه فى وضع اقتران علوى (الوضع P_2 فى الشكل ١ a) .

٥ - **التربيع** (Quadrature) :

إذا كان اتجاه الكوكب يصنع زاوية °٩٠ مع اتجاه الشمس يُقال أنه فى وضع تربيع . وهو هذا الوضع يشرق ويغرب إما فى الظهر أو فى منتصف الليل (الأوضاع P_3 فى الشكل ١ b) .

٦ - **الدورة الاقترانية** :

هى الدورة بين حدثين متتاليين مثل الفترة بين استقبالين متتاليين أو بين اقترانين متتاليين ، أو فترة دوران كوكب حول الشمس بالنسبة لكوكب آخر .

فإذا افترضنا أن السرعات الزاوية المتوسطة لكوكبين هى n_1 ، n_2 وأن $n_2 < n_1$ ، فتكون سرعة الكوكب الأول بالنسبة للثانى . $n = n_1 - n_2$

فإذا كانت دورة الكوكب الأول P_1 والثانى P_2 والدورة الاقترانية P يكون :

$$n_1 = \frac{2\Pi}{P_1}, \quad n_2 = \frac{2\Pi}{P_2} \quad , \; n = \frac{2\Pi}{P}$$

وبالتعويض فى المعادلة السابقة ينتج أن :

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \qquad (1)$$

ويلاحظ أن ما نعنيه بالرصد لأى كوكب هو دورته الاقترانية بالنسبة للأرض وليس دورته النجمية ، ومنها يمكن دورة الكوكب النجمية .

٧ - **قانون « بود »** :

هو قاعدة تيسر تذكر أبعاد الكواكب عن الشمس ، ولصياغة القاعدة نتبع



الخطوات الآتية :

١ - نكتب المتوالية (... , 12 , 6 , 3 , 0) بمضاعفة كل حد بعد الحدين الأولين.

٢ - تصنيف ٤ لكل حد .

٣ - نقسم كل حد على ١٠ نحصل على بعد الكوكب عن الشمس بالوحدة الفلكية. ويوضح جدول (١) أبعاد الكواكب تبعًا لقانون يود والأبعاد الحقيقية . وفى هذا الجدول يلاحظ فشل هذا القانون تمامًا فى تقدير أبعاد كل من نبتون وبلوتو ، أما بين المريخ والمشترى فلا يوجد كوكب على المسافة المحسوبة إلا أن متوسط بعد الكوكب « سيريس » يساوى ٢,٧٧ وحدة فلكية وهى تتطابق تقريبًا مع القيمة المقدرة بقاعدة يود .

جدول (١) أبعاد الكواكب عن الشمس

الكوكب	البعد المقدر (وحدة فلكية)	البعد الحقيقى (وحدة فلكية)
عطارد	(0 + 4) / 10 = 0.4	0.3871
الزهرة	(3 + 4) / 10 = 0.7	0.7233
الأرض	(6 + 4) / 10 = 1.0	1.0000
المريخ	(12 + 4) / = 1.6	1.5236
(Ceyes)	(24 + 4) / 10 = 2.8	2.7673
المشترى	(48 + 4) / 10 = 5.2	5.2025
زحل	(96 + 4) / 10 = 10.6	9.5633
يورانوس	(192 + 4) / 10 = 19.6	19.2937
نبتون	(384 + 4) = 38.8	30.2743
بلوتو	(768 + 4) / 10 = 77.2	39.6823

٥ - ٣ مدارات الكواكب والأقمار :

مدار الكوكب هو المسار الذى يتبعه الكوكب فى حركته حول الشمس ، أما مدارات الأقمار فهى المسار الذى يقطعه كل قمر فى حركته حول الكوكب التابع . وقد كان يظن قديمًا أن الأرض هى مركز المجموعة الشمسية ، وكان أول تقنين صحيح لحركة الكواكب هو قوانين كبلر التى صاغها الرياضى الألمانى «يوهان كبلر» بناء على تحليله الذى استغرق السنوات من ١٦٠٩ وحتى ١٦١٩ لأرصاد دقيقة أجراها الفلكى الدنمركى « تيكوبراه » . قوانين كبلر هذه وإن كانت تصف بصورة مرضية حركة الكواكب حول الشمس إلا أنه لا يمكن استخدامها للتنبؤ الدقيق بحركة الكواكب والأقمار ، بل يتم ذلك من خلال دراسات شديدة التعقيد باستخدام قوانين نيوتن ونظرية أينشتين للنسبية العامة .

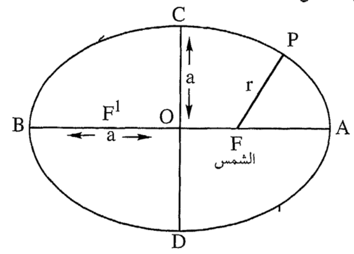
١ - قوانين كبلر للحركة الكوكبية :

هى ثلاثة قوانين منطوقها (شكل ٢)

١ - مدار الكوكب عبارة عن قطع ناقص تقع الشمس فى إحدى بؤرتيه .

٢ - يقطع الخط الواصل من الشمس إلى الكوكب مسافات متساوية فى أزمنة متساوية .

٣ - يتناسب مربع الزمن الدورى تناسبًا طرديًا مع مكعب متوسط بعد الكوكب عن الشمس .



شكل (٢) حركة الكواكب حول الشمس

ولشرح هذه القوانين نتعرف على القطع الناقص ببساطة كما لو كان دائرة استطالت فصار لها مركزان F^1 و F (لا مركز واحد) يسمى كل منهما بؤرة . كما صار له قطر أكبر $AB = 2a$ وقطر أصغر $CD = 2b$. وتقاس استطالة هذا القطع بكمية e تسمى الاختلاف المركزى ، وإذا كانت $e = o$ تنطبق F^1 على F ويتحول الشكل إلى دائرة ، ويرتبط كل من نصف القطر الأكبر a ونصف القطر الأصغر b والاختلاف المركزى e بالعلاقة :

$$b = a\sqrt{1 - e^2}$$

ويتحرك الكوكب فى مداره هذا من الغرب إلى الشرق ، فإذا كانت الشمس فى البؤرة F يكون الكوكب فى أقرب أوضاعه منها عند A ، ثم يبعد ليصل لأقصى بعد عنها عند B وتسمى A نقطة الحضيض وتسمى B نقطة الأوج . ومتوسط بعد الكوكب عن الشمس هو a .

فإذا كان P هو زمن الدورة الكاملة للكوكب حول الشمس فإن القانون الثالث يعنى أن :

$$\frac{a^3}{p^2} = \text{ثابت}$$

وهى صيغة تقريبية ، أما الصيغة الدقيقة فهى :

$$\frac{a^3}{p^2} = \frac{G(m + M)}{4\Pi^2}$$

حيث m كتلة الكوكب و M كتلة الشمس و G ثابت الجاذبية العام .

وقيم e لجميع الكواكب صغيرة جدًا عدا كوكبى عطارد وبلوتو وقيمتيها لهذين الكوكبين هى 0.2.6 ، 0.255 على الترتيب .

أما الأقمار والكويكبات والمذنبات فمداراتها أكثر استطالة حيث تصل لقمر المشترى رقم VIII (الباسيفى) إلى 0.38 ولقمر نبتون رقم II (تيريد) إلى ٠,٧٥ وهى تقارب الواحد الصحيح لكثير من المذنبات .

وتعانى مدارات الكواكب والأقمار وغيرها من أفراد أسرة الشمس اضطرابات كبيرة نتيجة الجذب المتبادل والمعتمد على كتلها وأبعادها المتبادلة .

٥ - ٤ الأرض :

هى ثالث الكواكب بعدًا عن الشمس ، وهى كـوكب فريد فى كميات المياه الوفيرة السـابحة فوق سطحها . والتـى ساعد على توافرها فى الحـالة السائلة أن حرارة الأرض أقل من درجة غلـيان الماء وأعلى من درجة تجمـدها . كذلك هى الكوكب الوحيد المـعروف بوجود حياة عليه . والأرض كرة انبـعجت فقل قطرها القطبـى عن الاستوائى . فنـصف القطر الاستـوائى حوالى ٦٣٧٨,١٤ كم بيـنما القطبى ٦٣٥٦,٧٥٥ كم ويصل حجمها بذلك لجزء من مليون و ٣٠٠ ألف جزء من حجم الشمس ، أما كتلتها فـهى جزء من ٣٣٠ ألف جزء من كتلة الشمس ، ويبلغ عمر الأرض حوالى ٤٦٠٠ مليون سنة .

٥ - ٤ - ١ جيولوجيا الأرض :

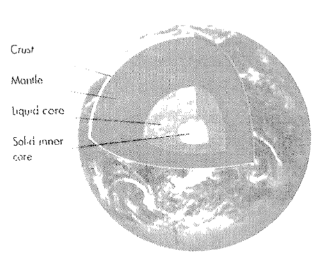
الأرض كوكب نشط جـيولوجيا ، وليس أدل على هـذا النشاط من الزلازل والبراكين وتحرك القارات وتكون الخامات المختلفة وغيرها . وتتكون الأرض من لب من الحديد والنيكل حرارته حوالى ٥٠٠٠ k تحت ضغط حوالى ٣ × ١٠^١١ نيوتن / م^{٢} وكثافته حوالى ١٢٠٠٠ كم / م^{٣} ، وتشير القياسات السيزمية أن هذا اللب منصـهر وإن كان هناك احتـمال كبيـر أن يكون الجزء الداخلى منـه صلبًا . ويقدر نـصف قطر اللب الـصلب بحوالـى ١٢٠٠ كم وسمك الجـزء المنصـهر بحوالى ٢٢٧٠ كم .

يلى هذا اللب وشاح (دثار) من السليكات سمكه حوالى ٢٩٠٠ كم وهو يبدو نتـيجة للضغط الـشديد الذى يتعرض له كـما لو كان سائلاً لـزجًا أو كوسط مسامى مما ينتج عنه انسياب رأسى بطـىء . ويسبح أعلى هذا الوشاح قشرة رقيقة يتراوح سمكها بين ٨ كم (تحت المحيطات) إلى ٧٠ كم تحت قارات اليابسة .

وتتسبب حركة المادة فى الوشـاح إلى زحف القارات . فقد كانت القارات متلاصـقة منذ حوالـى ٢٠٠ مليون سنة فى تلـك الحقبة تـغير نمط الحـركة فى الوشـاح فتجـزأت القارة الأولـية ونشـأت القارات الحـالية . ومـا زال المحـيط الأطلنطى يتـسع بينما تطفو مادة جـديدة فى الحافة الوسطى ، ومـا زالت أمريكا الشمالية تتباعد عن أوربا عدة سنتيمترات كل سنة .

كذلك تـطفو مادة جـديدة عند أحـرف البحـر المـتوسط فـتتـباعـد الصفائح الـتركيبية ، وتتـكون الجبال إذا ما تصـادم صفيـحتان ، أمـا عند حـدود القـارات فيـمـكن أن تنـدفع صفيـحة تحت أخرى فتسبب زلازل قد تكون على عـمق يصل إلى ٦٠٠ كم . أمـا الزلازل التى تحـدث عند أحرف البـحر المتـوسط فلا يتـعدى عمقها عشرات الكيلومترات .

كـذلك يـتـأثر سـطح الأرض بعوامل التـعرية المختلـفة من أمطار ورياح وتغـير فى درجات الـحرارة ، وقد بـدأ نشاط الإنـسان يلـعب دوراً متزايداً فيما يعترى سطح الأرض من تغيرات .



شكل (١٣أ) نموذج لباطن الأرض يوضح الطبقات المختلفة من السطح وحتى المركز .

درجة الحرارة (K°) الضغط(١٠^١١ نيوتن/م٢) الكثافة (كجم/م٣)

القشرة
الوشاح
اللب
العمق تحت السطح

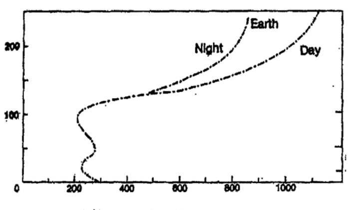
شكل (١٠ب) تغير العوامل الفيزيائية داخل الأرض مع البعد عن سطحها

٥ - ٤ - ٢ الغلاف الجوى :

يتكون الغلاف الجوى للأرض من ٤ طبقات أساسية هى التروبوسفير ويمتد لارتفاع ٨ - ١٠ كم وتنقص درجة الحرارة فيه بمعدل ٦ْ / كم . وهذه الطبقة تحتوى كل تغيرات الطقس وتقلباته . والسطح الذى يحد التروبوسفير يسمى التروبوبوز ، وارتفاع التروبوبوز يتغير وهو يقل فوق القطبين ويزيد فوق خط الاستواء ، حيث يمكن أن يصل إلى ١٨ كم . وتعود ظواهر الطقس المختلفة فى هذه الطبقة من رياح وسحب وأمطار وأعاصير وغيرها إلى ٣ عوامل رئيسية هى التفاوت فى الحرارة بين المناطق المختلفة مع حركة الشمس بين المدارين ، ودوران الأرض حول محورها وما يحدثه من تحرك للرياح وكذلك اختلاف درجات الحرارة بين البحر واليابسة . ويلى التروبوسفير طبقة الاستراتوسفير التى تمتد حتى حوالى ٦٠ كم ، وفى هذه الطبقة تثبت درجة الحرارة أولاً ثم تبدأ فى الازدياد ، ونظرًا لبدء تكون غاز الأوزون الذى يتكون بين ٢٠ و ٢٥ كم، ثم تبدأ درجة الحرارة فى النقصان فى الطبقة التالية وهى طبقة الميزوسفير التى تمتد حتى ٨٥ كم ، يليها الثرموسفير وفيه تزداد درجة الحرارة بصفة مستمرة . وتسمى المنطقة ما بعد حوالى ٤٠٠ كم الإكسوسفير حيث يصبح الهواء فى درجة تخلخل كبيرة تسمح لنسبة كبيرة من جزيئاته المتجهة لأعلى بسرعة أكبر من سرعة الهروب بالإفلات من جذب الأرض .

وبدءًا من الميزوسفير يوجد كم كبير من الشحنات الحرة فيما يسمى الأيونوسفير ، وهو يمتد فى الإكسوسفير حتى ارتفاع حوالى ٥٠٠ كم .

ويتكون الغلاف الهوائى فى طبقته السفلى من حوالى ٧٧ ٪ نيتروجين ، ٢١ ٪ أكسجين وكميات قليلة من بخار الماء وثانى أكسيد الكربون والغازات الخاملة . وبالارتفاع فى الجو تتواجد كميات قليلة من الأكسجين فى صورة ذرية ومن الأوزون .



شكل (٤) درجة الحرارة كدالة فى الارتفاع فى جو الأرض

طبقة الأوزون :

يتكون الأوزون ويتحلل بإتزان بين التفاعلين .

$$O_2 + O \rightarrow O_3 + \text{حرارة}$$

$$O_3 + UV \rightarrow O + O_2$$

ومن التفاعل الثانى يتضح أن الأوزون يمتص كميات كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية (UV) فيحمى الأرض من آثارها شديدة الضرر حيث تسبب سرطان الجلد والمياه البيضاء ونقص المناعة كما تسبب زيادتها أضرارًا بالمحاصيل الزراعية . وقد لوحظ بين سنتى ١٩٧٧ و ١٩٨٤ نقص كميات الأوزون فوق القارة المتجمدة بنسبة تصل ٤٠ ٪ فيما سمى بثقب الأوزون ، وما زال هذا التناقص مستمرًا وقد عُزى هذا النقص إلى التوسع فى استخدام غاز الفريون (كلورو فلوريد الكربون) وهو غاز يسهل تحرر إحدى ذرات الكلور التى يشتمل عليها ، وهذه الذرة الواحدة قادرة على تحطيم ١٠٠٠٠ جزىء من غاز الأوزون. كذلك ساعد على اضمحلال طبقة الأوزون غاز أكسيد النيتريك الذى ينطلق من الطائرات النفاثة . وقد فسر تمركز ما سمى بثقب الأوزون فوق القارة المتجمدة الجنوبية بأنه فى أشهر سبتمبر وأكتوبر ونوفمبر تكون هذه المنطقة معزولة هوائيًا فتسودها خلال تلك الفترة رياح تدور حول القطب الجنوبى . وكذلك تتكون سحب تعوق عمل المواد التى تقلل من تأثير الكلور مثل غاز ثانى أكسيد النيتروجين .

تطور الغلاف الهوائى :

مع تنامى الحياة على الأرض حدثت عليها تطورات كثيرة معقدة ؛ ولذلك مرت الأرض بعصور جيولوجية مختلفة . ومع تطور الأرض تطور غلافها الجوى. ففى مرحلة نشطة فى تطور الشمس بينما كانت حرارة الأرض شديدة الارتفاع ، هرب جوها الأصلى ، أما جوها الحالى فهو نتاج غازات انسابت من باطن الأرض بواسطة البراكين والعيون الفوارة وغيرها ، وقد تكونت هذه الغازات بصفة أساسية من ثانى أكسيد الكربون والنيتروجين وبخار الماء وقليل من الغازات الخاملة . وقد هاجمت كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون صخور السطح

وتفاعلت معها مكونة للحجر الجيرى الوفير على الأرض . ومنذ حوالى ١٠٠٠ مليون سنة بدأت الحياة النباتية على الأرض وبدأت معها عملية التمثيل الضوئى وما يصاحبها من إمداد الجو بالأكسجين .

وتشير الدراسات إلى أنه كان يمثل نسبة ١ ٪ فقط من الغلاف الهوائى منذ حوالى ٦٠٠ مليون سنة . وإذا توقفت عملية التمثيل الضوئى ينفذ الأكسجين الجوى بعمليات الاحتراق والتنفس والتحلل خلال ما يقرب من ١٠٠٠ سنة ، وقد يسرع إحراق الفحم والبترول بهذا المعدل ، ولكن الكميات المتاحة من كليهما سوف تنفذ أسرع كثيرًا من الأكسجين .

٥ - ٤ - ٣ المجال المغناطيسى :

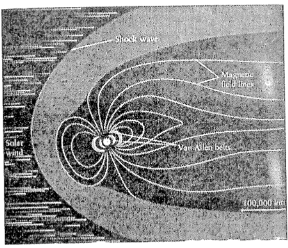
للأرض مجال مغناطيسى شدته حوالى ٣, جاوس ، ينطبق قطباه تقريبًا على قطبى الأرض الشمالى والجنوبى . وقد نشأ عن وجود اللب المنصهر مما يساعد على وجود شحنات حرة تتوزع مع دوران الأرض بحيث تحدث مجالاً مغناطيسيًا . والمجال المغناطيسى يحمى الأرض من الجسيمات المشحونة ، وخاصة الرياح الشمسية ، حيث تحملها خطوط القوى المغناطيسية إلى منطقة القطبين حيث تحدث تفريغًا كهربائيًا تنشأ عنه ظاهرة الشفق القطبى التى لا توجد فى بقية المناطق حيث توجد الشحنات على ارتفاعات كبيرة.

٥ - ٤ - ٤ أحزمة فان ألن المشعة :

هى مناطق تحيط بالأرض مأهولة بكميات كبيرة من الجسيمات المشحونة ، اكتشف هذه المناطق « جيمس ألفريد فان ألن » وزملاؤه خلال أبحاث أجروها باستخدام عدادات جيجر محملة على الأقمار الصناعية الأمريكية الأولى «المستكشف» I ، III ، IV ، التى أطلقت سنة ١٩٥٨ والطريف أن الهدف من وضع تلك العدادات كان الكشف عن الأشعة الكونية .

كانت العدادات تعمل بصورة طبيعية حتى ارتفاع حوالى ١٠٠٠ كم حيث بدأت تعمل بعنف ، وتأكدت تلك المعلومات بعد ذلك باستخدام مركبة الفضاء «بيونير» III التى أُطلقت فى ٦ ديسمبر سنة ١٩٥٨ م وكذلك باستخدام المركبة الروسية «ليونيك» التى أُطلقت فى ٢ يناير سنة ١٩٥٩ م .

وتتكون أحـزمة فان ألن من حـزامين متـراكزين (مشـتركين فى المـركز) تحتوى على إلكترونات وبروتونات بطاقات عالية جدًا اقتنصها المجال المغناطيسى الأرضى ، ووجهتـها خطوط القوى المـغناطيسية لهـذا المجال للتجـمع فى تلك الأحزمـة (شكل ٥).



شكل (٥) رسم توضيحى لأحزمة فان ألن الإشعاعية التى تحيط بالأرض

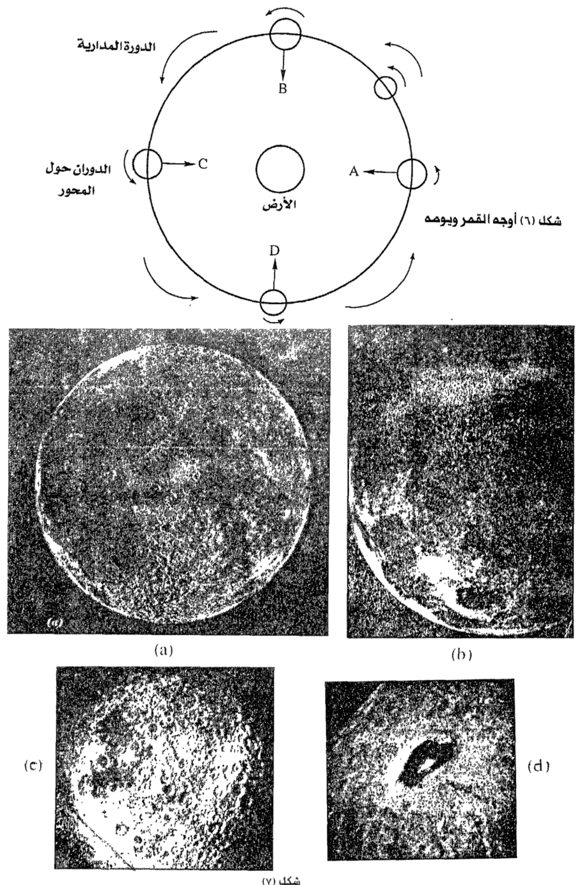
ويتغير عدد الشحنات وطاقاتهـا مع النشاط الشـمـسـى ، ويقـع أقصى تركيـز للحزام على ارتـفاع حـوالى ٣٠٠٠ كم ، بـينمـا يقـع الحـزام الثـانى وهو أقـل فى الطاقـة على ارتفاع حوالى ١٦٠٠٠ كم.

٥-٥ القمر:

القمر ربيب الأرض يتبعها من الغـرب إلى الشرق فى مدار إهليلجى يقترب فيه مـن الأرض حتى يكون منهـا على بعد ٣٥٦٤٠٠ كم ، ثـم يبتعد فـلا ينأى بأكـثر من ٤٠٦٧٠٠ كم ، وقـد قيس بـعده بدقـة لا تتعـدى عدة سنتـيمـترات باستخدام عاكسات لأشعة الليزر وضعـها عليه رواد مركبات الفضاء أبوللو فى سنة ١٩٦٩ م وهو من أكـبر أقمـار المجـموعة الشـمسيـة وجدول (٢) يوجـز بعض المعلومات عن القمر لتسهيل مقارنة باقى أقمار المجموعة الشمسية به :

يوم القمر:

إذا داومت على تفحص سطح القمر ستجده دائمًا يرينا وجهًا واحدًا لا يتغير ولا يتبـدل ؛ وسبب هذا أن الـقمر يدور حـول نفسه بـنفس معـدل دورانه حول الأرض بالنسبة للنجوم فيكمل دورة حول الأرض فى ٢٧,٣ يوم ، وما أن تكتمل تلك الـدورة حتى يـكون قد أكـمل دورة حـول محـوره . ومثل تـلك الدورات



شكل (٦) أوجه القمر ويومه

شكل (٧)

(a) نصف القمر المواجه للأرض وهو بدر ، كما يبدو من خلال المناظير . يلاحظ أن الأماكن المنخفضة أكثر دكانة .
(b) صورة مقربة للنصف غير المرئى ، المنطقة المعتمة عند المركز
(c) النصف غير المرئى (مركبة أبوللو ١٦) .
(d) فوهة مظلمة القاع تمتد حوالى ٢٠ كم (ناسا) .

جدول (٢) معلومات فيزيائية عن القمر

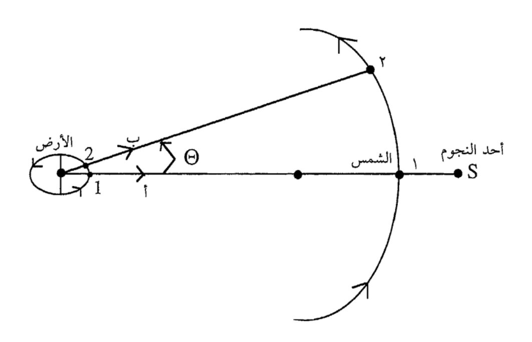
الخاصية	ملاحظات
الكتلة = ١ : ٨١,٣ من كتلة الأرض . الحجم = ١ : ٥٠ من حجم الأرض نصف القطر : ٢٧ : ١٠٠ من نصف قطر الأرض	أكبر قليلاً من بلوتو
عجلة الجاذبية عن سطح = ١,٦٥ متر / ث٢ (١/٦ مثيلتها على الأرض) .	بذلك تكون الأوزان عليه صغيرة ومستواها بطيء .
سرعة الهروب = ٢,٣٨ كم / ث .	على الأرض ٩,١١ وعلى الشمس ٦١٨
المجال المغناطيسى = ١ : ١٠ مليون من مجال الأرض.	لا يمكن الاسترشاد بالبوصلة
ميل المدار على دائرة البروج = ٥° . طول اليوم = ٢٧,٣ يوم أرضى . الشهر النجمى = ٢٧,٣ يوم أرضى .	متساويان

المرتبطة تسمى « دورة متزامنة » . وشكل (٦) يوضح تأثير هذا التزامن على ما تراه الأرض من سطح ربيبها القمر وكذلك على مايبدو لها مضيئًا من وجهه .

وبسبب دورة القمر المتزامنة لم نعرف شيئًا عن وجهه الآخر المختفى عن الأرض قبل أن تدور حوله سفن الفضاء وتقوم بتصويره ، عندئذ تبين أنه يختلف كثيراً عن الوجه الذى نرى ، وأنه يكاد يكون مغطى تماما بالحفر والفوهات (شكل ٧) وكذلك أمكن لهذه المركبات تصوير المناطق القطبية للقمر .

ولو وقفنا على نصف القمر المواجه للأرض فإنا نراها طوال ليلنا القمرى لأكثر من أسبوعين ، فهى بالنسبة لهذا النصف لا تشرق ولا تغرب ، فهى فى حالة شروق دائم عليه ، كما أنها فى حالة غروب دائم عن نصفه الآخر .

أما بالنسبة لــلشمس فلا يخفى القمر أى جزء مــن سطحه عنها إلا أن طول اليوم القمرى بالنــسبة للشمس أطول من طوله بالنسبة لــلنجوم ، وهذا يتضح من شكل (٨) .



شكل (٨) يوم القمر (بالنسبة للشمس)

فإذا كان القمــر عند النقطة ١ فى مداره ، وجزؤه المواجه لــلشمس معرف بالسهم أ المتجه ناحية الشمس وفى نفس الوقت ناحية أحد النجوم (S) ، ثم دار القمر فى مداره ليــعود لنفس النقطة أ ، خلال تلك الدورة يكون الــقمر قد أكمل دورة حول محوره ، وبذلك يعود السهم أ لنفس اتجاهه ، ويكون القمر قد أكمل دورة فى مداره وفى نــفس الوقت دورة حول نفســه بالنسبــة للنجم (S) ، ولكن الشمس خلال تلك الفترة تتحرك للوضع ٢ وبذلك يحتاج القمر للتحرك فى مداره (وفى نفس الوقت حول محوره) بالزاوية Θ ليكمل دورة بالنسبة للشمس حيث يتطابق السهم فى تلك الحالة على الوضع ب . فلذلك فإن :

طول اليوم القمرى النجمى = طول الشهر القمرى النجمى

= ٢٧,٣٢ يومًا

بينما

طول اليوم القمرى للشمس = طول الشهر القمرى الافتراضى

= ٢٩,٥٣ يومًا

وطول يوم القمر وكذلك طول الشهر القمرى ليسا ثابتين ، فالقمر يبتعد عن الأرض باضطراد ، وكان فى أقرب أوضاعه منها منذ ١٠٠٠ مليون سنة ، فى تلك الحقبة كان طول الشهر ٦ ساعات ونصف فقط ، بينما كان طول اليوم ٥ ساعات وكان بعد القمر آنذاك لا يتعدى ١٨٠٠٠ كم ، وبذلك كان يغطى ١١° من السماء وهو ما يزيد ٢٢ ضعفًا مقدار قطره الحالى ، بل وحتى عهد قريب لا يتعدى ٣٧٥ مليون سنة كان بعد القمر عن الأرض لا يزيد عن نصف بعده الحالى .

أوجه القمر والأشهر القمرية :

يتحرك القمر فى مداره حول الأرض ليكمل دورة بالنسبة للنجوم فى حوالى ٢٧,٣٢ يوما ، أى أنه يتحرك حوالى ١٣,١٧٧° كل يوم . بينما تتحرك الشمس فى مدارها الظاهرى حول الأرض بمعدل ٠,٩٨٦° كل يوم وبذلك يتحرك القمر ١٢,١٩١° فى اليوم بالنسبة للشمس ليكمل دورة كل ٢٩,٥٣ يوما وهى ما تسمى بالشهر الاقترانى ، وهذه الفترة الأخيرة هى طول الشهر العربى أو الهجرى .

ويشترط لبداية الشهر الهجرى فلكيًا شرطان ، أولهما : أن يتم الاقتران بين الشمس والقمر والأرض (أى يتساوى الطول السماوى لكل من الشمس والقمر) وتسمى هذه اللحظة بلحظة ميلاد الهلال الجديد ، أما الشرط الثانى : فهو أن يغرب القمر (فى يوم مولده) بعد الشمس . فإذا تحقق هذان الشرطان كان اليوم التالى (فلكيًا) هو بداية الشهر العربى الجديد . أما من الناحية الشرعية فثبوت رؤية الهلال بعد غروب الشمس شرط أساسى ، ولكى يتيسر ذلك لابد أن يمكث الهلال الوليد فوق الأفق فترة كافية بعد غروب الشمس ، وأن يكون الأفق صافيًا . ويساعد على تحقق الرؤية أن يكون الفرق فى الزاوية السمتية بين الشمس والقمر كبيرًا بدرجة كافية .

وكما سبق أن أوضحنا فإن القمر يدور حول نفسه دورة كاملة بالنسبة للشمس خلال الشهر الاقترانى ، وبذلك يتغير الجزء المضىء منه ، وبالتالى الجزء المرئى من على سطح الأرض حسب وضع القمر بالنسبة للشمس وللأرض (شكل ٦) فيكون فى الشهر هلالاً ثم تربيعًا أول ثم بدرًا ثم تربيعًا ثانيًا (أومحاقًا) ثم يعيد دورته من جديد .

منازل القمر :

كما ذكرنا فإن القمر يتحرك حوالى ١٣° كل يوم ، فيُرى وسط مجموعة من النجوم تختلف عن تلك التى كانت تحيطه فى اليوم السابق .

وقد سمى العرب الأقدمون مجموعات النجوم تلك التى تستضيف القمر كل ليلة ، أثناء تجواله الدءوب حول الأرض ، منازل القمر وعددها ٢٨ منزلاً . فإذا قارنا هذه المنازل بالأبراج نجد كل برج يضم حوالى $\frac{1}{3}$٢ منزلاً .

الظروف الفيزيائية على القمر :

ليس للقمر غلاف هوائى بسبب قربه من الأرض مع ضعف جاذبيته والارتفاع الكبير فى درجات الحرارة عليه أثناء النهار . ولا يزيد قدر الغازات التى قد تتراكم منسابة من باطنه فى أى وقت عن جزء من المليون من كتلة جو الأرض. كذلك لا يوجد على القمر ماء سائل ولا ثلوج ولم يجد رواد الفضاء الذين هبطوا على القمر أثرا لمياه جوفية تحت سطحه ، ولكن الصخور جلبوها لتحليلها على الأرض ثبت احتواؤها على الماء فى تركيبها الكيميائى ، وكان رواد الفضاء على سفن أبوللو الأمريكية قد جلبوا ٢٠٠٠ عينة كتلتها ٣٨٢ كجم ، بينما جلبت سفن لونا السوفيتية ٣١٠ كجم .

تبعًا لذلك ليس على القمر طقس ، فلا سحب ولا رياح ولا صقيع ولا ضياء . وبالتالى لا توجد على القمر عوامل تعرية مما يجعل تركيباته تحتفظ بصورتها الأصلية لفترات طويلة فنجد الصخور التى تكونت من آلاف الملايين من السنين جنبًا إلى جنب مع تلك التى تكونت حديثًا ، ولذلك يقال أن تاريخ القمر مدوّن فوق سطحه .

ونظرًا لعدم وجود غلاف هوائى أو محيطات تهدئ من تفاوت درجات الحرارة ، فإنها تتغير بحدة بين النهار والليل ، فترتفع أثناء النهار لأكثر من درجة

(٩)

غليان الماء (١٠٠) ، ثـم تهبط بحدة أثناء الليل لتـصل إلى حوالى ١٧٠° تحت الصفر . وقـد قيس معدل هبوط درجـة الحرارة على سطح القمـر أثناء الكسوف فوجد أنها تهبط بمعدل ١٥٠° كل ساعـة كذلك فإن عدم وجود لب منصهر تسبب فى عدم وجود مجال مغناطيسى للقمر يمكن قياسه .

سطح القمر وباطنه :

يستطيع الإنسان أن يرى بعينه المجردة كثيـرًا من المناطق المعتمة والمضيئة على سطح الـقمر . فإذا ما اسـتعان بمنظار اكـتشف أن المناطق الـمعتمة تـشبه السهول الـمنبسطة على سطـح الأرض ، ولذا حسبها الأقـدمون مسطحات مـائية كبيرة وأسموها بالبحار . أما المناطق المضيئة فإنها أكثر وعورة . ويُرى فى بعض ما يسمـى بالبحار فوهات أو قـمم جبال منفصلة ، وتـمتد هذه المناطق المـسماة بالبحـار مسافات كـبيرة تصل ما بـين ٢٥٠ و ٨٠٠ كم وتحيط بهـا سلاسل من الجبال . والجـبال على القمر توجد إما مـنفصلة وإما فى سلاسل يسمـى بعضها بأسماء تاريخية أو بأسماء بعض العلماء . وتختلف ارتفاعات جبال القمر كما هو الحال على الأرض وتصل ارتفـاعاتها عدة كيلومترات ، وتـقاس هذه الارتفاعات عادة بما تلقيه المرتفعات من ظلال على سطح القمر .

أما فوهات القمر فتشبه إلى حد كـبير الفوهات البركانية على سطح الأرض ويوجد مـنها آلاف عديـدة يتراوح اتسـاعها بين عـشرات الأمتـار ومئات الـكيلو مترات. وهى أكثر كثافة فى الوجه البعيد عن الأرض . ويعزى وجود أعداد كبيرة فى تلك الفوهات إلى سـقوط أعداد كبيرة من الأجسام النيزكـية وعدم وجود جو للقمر يخفف من تأثيرها . ويقدر عمر أقدم صخور القمر بحوالى ٤٦٠٠ مليون سنة وهو عمر المجموعة الشمسية. ويمكن إيجاز أهم ملامح السطح فيما يلى :

١ - منخفضات من صخور نارية داكنة نسبة لما حولها .

٢ - فوهات تتراوح ما بين مئات الكيلو مترات إلى حفر صغيرة جدًا .

٣ - جبال بعضها أعلى من جبال الأرض .

٤ - وديان من مواد بركانية تكونت أثناء فتـرات قديمة نشطة جيولوجيا من عمر القمر .



أما من الناحية الجيولوجية فإن القمر خامل جيولوجيا وأشد الأنشطة الزلزالية عليه التى أمكن لسفن أبوللو قياسها حدثت على عمق ٨٠٠ كم تحت السطح . وتتركز العناصر الثقيلة عند مركز القمر مما يدل على أنه كان منصهراً فى مرحلة سابقة . ويحيط الشك بدرجة كبيرة فى وجود لب للقمر ، وإن وُجد فهو صلب ولا يحتوى على أى مادة منصهرة ، لذلك فالأرجح أن للقمر وشاحا وقشرة خارجية صلبة مع عدم وجود لب . والجزء المواجه للأرض من القشرة أعلى فى الكثافة وأقل فى السمك (حوالى ٥٠ كم بينما يصل سمك الجزء البعيد إلى ١٦٠ كم) .

نشأة القمر:

هناك ثلاثة احتمالات لنشأة القمر :

١ - إما أنه نشأ بالقرب من الأرض كجسم منفصل مع نشأة المجموعة الشمسية .

٢ - أو انفصل عن الأرض ونتج المحيط الهادى عن هذا الانفصال .

٣ - أو نشأ فى مكان آخر ثم اقتنصته الأرض .

إلا أن الاحتمال الثانى مرفوض الآن لأسباب منها أن عمر المحيط الهادى قدر بحوالى ٢٠٠ مليون سنة فقط وتشير الدلائل لتكونه كنتيجة لزحف القارات ، كما أن تركيب تربة القمر يختلف عن تركيب تربة الأرض . لذا فإن المعتقد أن القمر نشأ مع باقى أفراد أسرة الشمس مثله مثل باقى الكواكب .

٥-٦ الكواكب الأرضية :

٥-٦-١ عطارد :

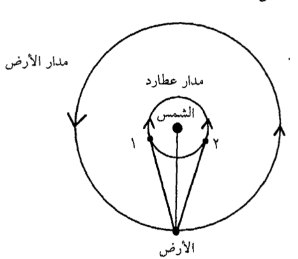
هو أقرب الكواكب للشمس ببعد متوسطه ٣٨٧ وحدة فلكية وهو يدور حولها مكملاً دورة بالنسبة للنجوم كل ٨٧,٩٧ يوما فى مدار إهليلجى استطالته كبيرة حتى إن وجهه يبعد عن الشمس مرة ونصف قدر بعد حضيضه . ويميل مستوى هذا المدار ٧ درجات على مستوى البروج . ويدور عطارد حول محوره مكملاً دورة بالنسبة للنجوم كل ٥٨,٦٥ يوما ، أى حوالى طول دورته حول الشمس . وبذلك يكون طول اليوم الشمسى على عطارد حوالى ١٧٦ يومًا .

ويميل محور دوران الكوكب حول نفسه بحوالى ٢٨ْ على محور المدار . وعطارد هو ثانى الكواكب صغرًا ، فقطره حوالى ٤٩٠٠ كم أى أنه أكبر من قطر القمر فقط بحوالى ٤٠ ٪ . أما كتلته فحوالى ٠٦, من كتلة الأرض . وبذلك فجاذبيته عند سطحه ٣٨, من تلك التى على سطح الأرض .

المشاهدة وملامح السطح :

يتسبب قرب عطارد من الشمس فى خلق صعوبات شديدة فى دراسة سطحه من على سطح الأرض . فأقصى بعده الزاوى عن الشمس لا يتعدى ٢٨ْ ولذلك لا يمكن مشاهدته إلا خلال ساعتين بعد غروب الشمس أو قبل شروقها .

وتضاريس سطح عطارد تشبه لدرجة كبيرة تضاريس سطح القمر فيما عدا الندرة الواضحة فى عدد الحفر ؛ وذلك لقربه من الشمس وبعده عن منطقة الكويكبات وكذلك صلابة سطحه . وأهم ما يميز تلك التضاريس وجود منحدرات عالية شديدة الميل .



شكل (٩) أقصى زاوية بين اتجاهى عطارد والشمس

الغلاف الجوى ودرجات الحرارة :

ليس لعطارد غلاف جوى خاص به ، وذلك لقربه الشديد من الشمس مع صغر كتلته ، فهو لا يستطيع الاحتفاظ بأى غازات تنساب من داخله لأكثر من أسبوع . ولا يوجد الماء فوق عطارد فى أى صورة .

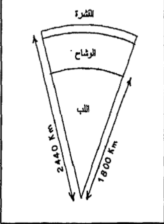


وكنتيجة لعدم وجود غلاف جوى أو مياه تنساب على السطح ، تتفاوت درجات الحرارة بدرجة شديدة بين الليل والنهار ، فترتفع أثناء النهار حتى تصل ٧٠٠ درجة مطلقة ثم تقل عند غروب الشمس إلى حوالى ٤٢٥° تنحدر أثناء الليل إلى ١٠٠° مطلقة.

باطن الكوكب ومجاله المغناطيسى :

ليس لكوكب عطارد أى نشاط جيولوجى ، وله لب كبير لا يتناسب مع حجمه حيث يمتد لمسافة ١٨٠٠ كم من المركز. وهو بذلك يصل لحجم القمر ، وهو يتكون أساسًا من الحديد والنيكل ثم وشاح صخرى وقشرة خارجية تصلبت بسرعة (شكل ١٠) .

أما المجال المغناطيسى فشدته حوالى $\frac{١}{١٠٠}$ من مجال الأرض ، وهو يعتبر كبيرًا لعدم وجود لب منصهر ولبطء دوران الكوكب حول محوره .



شكل (١٠) التركيب الداخلى لكوكب عطارد

حركة الحضيض :

أظهرت نتائج الأرصاد أن حضيض مدار عطارد يدور شرقًا بزاوية ٤٣″ كل قرن . وهذا القدر لا يمكن تفسيره باستخدام قوانين نيوتن ، ولزم لإيجاد تفسير رياضى له الاستعانة بنظرية النسبية العامة لأينشتين .

٥-٦-٢ الزهرة :

آلهة الحب والجمال عند الإغريق والبابليين ، وأبهى أجرام السماء فهى تسطع فور غروب الشمس قبل أن يأفل ضوء شفق المساء ، كما تلمع قبل شروقها حتى بعد أن يبدأ شفق الصباح فى التبشير بقرب شروق شمس يوم جديد . إنها ألمع الأجرام بعد الشمس والقمر ، كما أنها تبدو لنا بوجوه متنوعة تحاكى بها أوجه

القمر ، ويأتى بهاء الزهرة من غطاء السحب التى تكسوها فيعكس للفضاء أكثر من ٧٥, مما يسقط عليها من ضـوء الشمس . وتشارك الزهرة عطارد فى عدم وجود أقمار تدور حول أيهما .

ومدار الزهرة حول الشمس يميل ٣,٣٩ْ عـلى مستوى الكسوف وهو أقرب مدارات الكواكـب للدائرة وهى تكمل دورة كل ٢٢٤,٧ يـومًا بينما تـكمل حول محورها دورة كل ٢٤٣,٠١ يومًا ، ويميل هذا المـحور على محور المدار بزاوية ١٧٧,٤ْ . ولذا فدوران الكوكب حول نفسـه تراجعى (أى من الشرق إلى الغرب) وينتج عن هذا أن الشمس تشرق على الزهرة من الغرب وتغرب من الشرق وطول اليوم الشمسى حوالى ١١٧ يومًا من أيام الأرض .

والزهرة أقرب الكواكب للأرض حجـمًا ، فقطرها ١٢١٠٠ كم وهى بذلك أصغر من الأرض ٥ ٪ فـقط ، أما كتلتـها فهى ٨١٥ ومثل كـتلة الأرض . وعند الاقتـران السفلى تقـترب الزهرة لحـوالى ٤٢ مليون كـيلو متـر من الأرض . أما الجاذبية عند سطحها فتبلغ ٩١, قدر جاذبية الأرض .

المشاهدة وملامح السطح :

أقصى زاوية استطالة للزهرة (الزاوية : الزهرة - الأرض - الشمس) ٤٧ْ، لذلك لا يمكن رؤيتها إلا خلال ٣ ساعات بعـد غروب الشمس أو قبل شروقها ، لكنها تُرى أحيانًا حتى بعد شروق الشمس .

وكثافـة الغلاف الهوائى والسحب الـتى تحيط بالكوكب تجـعل رؤية سطح الزهرة باستخدام المناظير البصرية أمرًا شديد التعقيد .

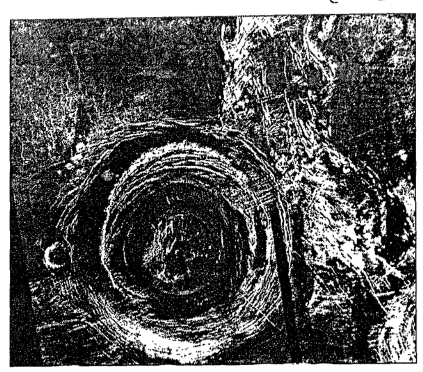
وقد أوضحت الأرصاد الرادارية وسفن الفضاء وجود أخاديد وجبال وفوهات وبراكين وتركيبات بركانية أخرى (شكل ١١) .

وبعكس الأرض تنتشـر الملامح البركانية بانتظـام على الزهرة . ولا توجد أدلة على تحركات كبيرة للقشرة . وإن كـانت توجد تشوهات محلية ، ومن غير المفهوم أن الفوهات الناتجة من تصادمات مع السطح تحتفظ بهيئتها دون تشويه .

وقد اكـتشفـت منطقتـان ممتـدتان من المـرتفعات ، إحـداهما (وتسـمى

أفروديت) بالقرب من خط الاستواء وتقارب مساحتها مساحة أمريكا الجنوبية ، والأخرى قارة (تسمى عشتار) تقع عند خط عرض ٧٠ْ شمالاً ويقع فيها أعلى جبال الزهرة الذى يبلغ ارتفاعه ١٢ كم .

ويمكن تقسيم السطح بصورة عامة إلى منخفضات بها حفر كبيرة تمثل ٦ ٪ من السطح ، وأخرى عادية وتمثل ٢٧ ٪ من السطح ، بالإضافة لمرتفعات تمثل حوالى ٨ ٪ من السطح .

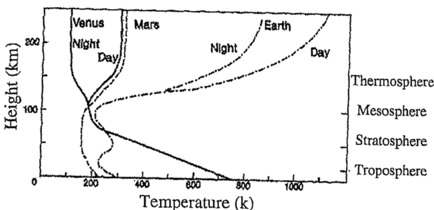


شكل (١١) أحد براكين الزهرة غير المعتادة والتى تكون قد نشأت من انسياب الحرارة من باطن الكوكب

الغلاف الجوى ودرجات الحرارة :

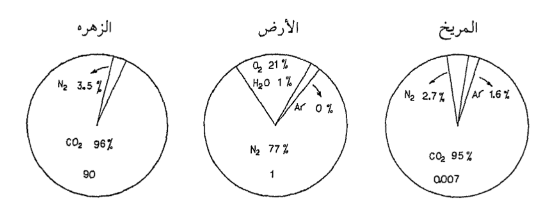
للزهرة غلاف جوى كثيف ضغطه عند السطح يعادل ٩٠ جو مكوناته ٩٦ ٪ ثانى أكسيد كربون ، ٣,٥ ٪ نيتروجين وغازات خاملة بكميات قليلة ، وهذا الغلاف الجوى جاف بدرجة كبيرة حيث لا يمكن التعرف على بخار الماء بين مكوناته ، ويقدر حده الأقصى بواحد من المليون من كميته فى جو الأرض . وأحد التغيرات لذلك أن بخار الماء تحلل فى طبقات الجو العليا بتأثير الأشعة





تغير درجة الحرارة مع الارتفاع فى أجواء كل من الزهرة والأرض والمريخ

فوق البنفسجية ثم هرب الهيدروجين لفضاء ما بين الكواكب . كذلك أوضحت أرصاد سفن الفضاء مارينر (سنة ١٩٦٢) وفينيرا ٩ ، ١٠ (سنة ١٩٧٥) وجود حامض الكبريتيك كمكون أساسى للسحب مما يساعد على وجود أمطار حمضية واحتمال وجود ما يشبه الأنهار من الصخور المنصهرة. وكنتيجة لهذا الجو الكثيف لا يصل لسطح الكوكب غير ١ ٪ من ضوء الشمس الساقط عليه ، ومدى الرؤية بذلك لا يتعدى كيلومترات قليلة ، ويقل لعدة مئات من الأمتار خلال السحب . والسحب فى الزهرة توجد على ارتفاعات ما بين ٤٨ ، ٦٠ كم تعلوها طبقات تشبه الضباب تكون السطح المرئى للكوكب . كذلك تتسبب كثافة الغلاف الجوى وغلبة ثانى أكسيد الكربون على تركيبه فى زيادة ظاهرة البيت الزجاجى وتحكمها فى حرارة السطح فترفعها لتصل لحوالى ٧٥٠° مطلقة (حوالى ٤٨٠ مئوية) . وكذلك فى الإقلال بدرجة كبيرة من تغيرها بين الليل والنهار ومن منطقة لأخرى على الكوكب . لكنها تهبط عند قمة السحب إلى حوالى ٢٤٠° مطلقة ، وقد أدى عدم وجود تفاوت كبير فى درجات الحرارة بين أنحاء الكوكب والبطء الشديد فى دوران الزهرة حول محورها لعدم وجود دورات للرياح ، ولذا تبدو السحب ساكنة فيما عدا حركات صغيرة رأسية تنعدم قرب السطح ، وأقرب من المنطقة المواجهة للشمس تجاه القطبين وإن كانت حركات ضعيفة بدرجة ملحوظة . أما السحب العليا فتتحرك بسرعة وتدور حول الكوكب فى حوالى ٤ أيام مدفوعة برياح قوية تحركها الشمس .



شكل (١٢) الوفرة النسبية للغازات الأساسية المكونة لأجواء كل من المريخ والأرض والزهرة

باطن الزهرة ومجالها المغناطيسى :

يتشابه التركيب الجيولوجى للزهرة كثيرًا مع نظيره على الأرض ، وتوجد براكين عديدة وظواهر توحى بوجود نشاط بركانى مثل التغير فى كميات ثانى أكسيد الكبريت وهو غاز معروف بأن له أصلا بركانيا .

وللزهرة لب معدنى صغير (قد يكون من الحديد والنيكل) ووشاح صخرى وقشرة. وجزء من اللب فى حالة سائلة مما يمكن أن يساعد على وجود مجال مغناطيسى كبير. إلا أن البطء الشديد لدوران الزهرة حول محورها حال دون وجود مثل هذا المجال ، وقد أدى هذا لسهولة وصول الرياح الشمسية حتى قرب السطح محدثة شفقًا قويًا قد يصل للأماكن المظلمة .

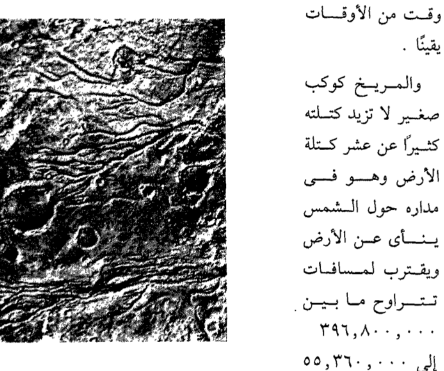
٥ - ٦ - ٣ المريخ :

المريخ هو رابع أسرة الشمس فهو يلى الأرض ببعد متوسط عن الشمس مقداره ٢٢٧,٥٠٠,٠٠٠ من الكيلومترات أو ما يقرب من مرة ونصف قدر متوسط بعد الأرض عنها .

وللمريخ مع اهتمام الناس تاريخ قديم حيث جذب لونه المائل للاحمرار نظر الأقدمين فاعتبروه رمزًا ومؤشرًا للحروب وكوارث الطبيعة ، أما فى عصرنا الحديث فقد عقد علماء الفلك الآمال الكبار على احتمالات وجود حياة على هذا

الكـوكب ظنوهـا فى وقـت من الأوقـات يقينًا .

والمـريـخ كوكب صغـير لا تزيد كتـلته كثـيرًا عن عشر كـتلة الأرض وهـو فـى مداره حول الـشمس يـنـأى عـن الأرض ويقـترب لمـسافـات تـتـراوح مـا بـيـن ٣٩٦,٨٠٠,٠٠٠ إلى ٥٥,٣٦٠,٠٠٠ من الـكيلـومتـرات ، وهو فـى دورانه حـول الشمس يكمـل سنة فى حوالى ٦٨٧ يومًا أرضيًـا ، فلو أن زائرًا من الأرض هبط على المـريخ فى سنة ٢٠٠٠ وعمـره ٣٠ سنة ثم عاد إلى الأرض بعـد ٣٠ سنة مريخية فإنه سيجد أقرانه قد جاوزوا الـسادسة والثمانين حيث تكون الأرض حينئذ فى سنة ٢٠٥٦ . أما دورة المريخ حول محوره ، أى اليـوم المريخى فيزيد قليلاً على ٣٧دقيقة ٢٤ ساعة .



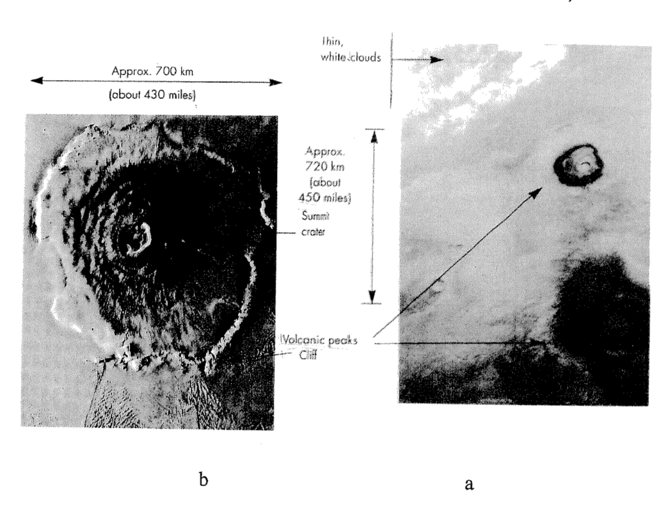
شكل (١٣) بعض تفصيلات نصف الكرة الجنوبى للمريخ حيث يُرى الضباب عند الأفق

الملامح الأساسية لسطح المريخ (كما ترى من على الأرض) :

كان مـن نتائج مـا قام الفـلكيون مـن أرصاد فوق سـطح الأرض اكتـشاف الملامح الرئيسية الآتية للمريخ :

١ - مناطق صفراء زاهيـة يميلً لونها للاحمرار تكون حوالـى ثلثى مساحة السطح ، وقد كان يظن أنها المناطق الصحراوية على الكوكب .

٢ - مناطق داكنة يميل لونها للاخضرار تغطى حوالى ثلث مساحة الكوكب ويزداد تواجدها فى نصف الكرة الجنوبى . ويعترى هذه المناطق موجة من الدكانة تبدأ من القطب فى اتجاه خط الاستواء خلال فصل الربيع والصيف بمعدل حوالى ٣٠ كم / اليوم ثم تتعدى خط الاستواء لتصل حتى خط عرض ٢٢° تقريبًا فى نصف الكرة الآخر . وقد ساد لفترة طويلة مفهوم أن تلك مناطق مزروعة ، وأن هذه الموجة من الدكانة ما هى إلا نباتات تنمو فى فصلى الربيع والصيف نتيجة لانصهار الجليد عند القطب ثم سريان الماء وزحف الخضرة والنماء فى اتجاه خط الاستواء



شكل (١٤) (a) أشكال متنوعة حول أحد الحفر مما يشير لوجود الماء قديمًا على سطح المريخ (b) بركان « أولمبس فونس » أحد أكبر براكين المجموعة الشمسية

٣ - شبكة من الخطوط المتشابكة أشبه ما تكون بشبكات الرى على الأرض، تنتشر فى المناطق الصحراوية ، ذات لون وتغيرات موسمية مماثلة للمناطق الداكنة ، وقد اكتشف هذه الخطوط الفلكى الإيطالى « شيباريللى » فى أواخر القرن الماضى وأسماها بالقنوات المناخية وهى قنوات رى حفرها سكان المريخ أصحاب حضارة متقدمة وإمكانات تكنولوجية كبيرة ، مما حدا بـ « برنارد لويل » أن يقيم بعد ذلك مرصدًا خاصًا فى أريزونا «الولايات المتحدة الأمريكية» لدراسة هذه الظواهر على سطح المريخ .

٤ - الطواقى القطبية شديدة الشبه بالمناطق القطبية المتجمدة على سطح الأرض وتبعًا لطبيعة الفصول على المريخ تنصهر الطاقية الجنوبية (أو تتسامى) بمعدل أسرع كثيرًا من معدل انصهار (أو تسامى) الطاقية الشمالية ، وقد تتلاشى تمامًا بينما لا يقل عرض الأخيرة عن حوالى ٦ درجات .

رحلات الفضاء إلى المريخ :

١ - كانت المقابلة الأولى مع المريخ فى سنة ١٩٦٥ م وذلك بواسطة سفينة الفضاء مارينر ٤ وقد كشفت صورها الـ ٢٢ عن سطح مغطى بفوهات وحفر كثيرة ومتنوعة .

٢ - فى سنة ١٩٦٩ طارت سفينتا الفضاء مارينر ٦ ، ٧ فوق الكوكب وبعثتا بمئات الصور التى أكدت الطبيعة الميتة المليئة بالحفر التى أخبرت بها مارينر ٤ .

٣ - فى سنة ١٩٧١ وصلت مارينر ٩ فى مدار حول المريخ لتقوم بتصوير كافة أنحاء الكوكب ، وبعد انتظار انتهاء عاصفة رملية كبيرة دامت عدة شهور والتى سبقت وصولها ، بعثت المركبة بصور تؤكد النتائج السابقة ولكنها أضافت إليها وجود براكين ضخمة وأخاديد هائلة وكثبان من الرمال وقنوات تشبه مجارى الأنهار على الأرض وطبقات متعددة من الرواسب عند القطبين (بقوة تفريق ١-١٠ كم) .

٤ - فى سنة ١٩٧٦ وصلت إلى المريخ مراكب الفضاء الأربع فايكنج (قوة تفريق صورها ما بين ٨ متر و ١٥٠ - ٣٠٠ متر) لدراسة سطح المريخ بتفصيل أدق ، وذلك من مدارات حول الكوكب ومن على السطح مباشرة وبهدف حسم التساؤل القديم عن الحياة فوق هذا الكوكب . وقد استمرت فايكنج ١ تعمل فى مدارها مدة ٤ سنوات بينما استمرت فايكنج ٢ لمدة عامين ، وقد حصلت المركبتان معًا على أكثر من ٥٥,٠٠٠ صورة لسطح المريخ ، أما مركبة الهبوط فايكنج ١ فقد رست فى منطقة تعرف بـ « كريس بلانيتيا » (٢٢,٢٧ْ شمالاً ، ٤٧,٩٧ْ غربًا) يوم ٢٠ يوليو سنة ١٩٧٦ ، بينما رست مركبة الهبوط فايكنج ٢ فى منطقة « يوتوبيا بلانيتيا » (٤٧,٧ْ شمالاً ، ٢٢٥,٧٤ْ غربًا) فى الثالث من سبتمبر ، وقد تم جمع عينات حول المركبتين فى المناطق المتاحة لذراعيهما اللذين كان طول كل منهما حوالى ٣ أمتار ، كما استخدمت الأذرع نفسها لدراسة خواص الصخور والتربة التى تراوحت بين مواد يسهل سحقها (عند الموقع الأول) إلى مواد غير قابلة للخدش (حول كلا الموقعين) .

جيولوجيا الكوكب وأهم ملامح سطحه :

أظهرت صور مارينر وفايكنج أنه توجد على المريخ تركيبات جيولوجية متنوعة ومعقدة ، كما أظهرت عدم تماثل واضح بين نصفى الكرة الشمالى والجنوبى :

١ - يرتفع نصف الكرة الجنوبى ١ - ٣ كيلو متر عن المستوى الطبوغرافى المتوسط كما تكثر به الحفر والفوهات بأحجام وسعات مختلفة ، بينما يقع النصف الشمالى بصفة عامة تحت هذا المستوى ويندر وجود مثل هذه الحفر فيه.

٢ - يتكون نصف الكرة الجنوبى من جزئين رئيسيين ، قشرة قديمة جدًا تكاد تكون مشبعة بالحفر الضخمة والصدوع والقنوات الصغيرة والكبيرة ، أما الجزء الآخر فهو سهول تفصل بين هذه الحفر ، أما نصف الكرة الشمالى فيتكون من سهول متنوعة بها بعض الحفر وبعض البراكين . وطبيعة التربة فى خطوط العرض المتوسطة والكبيرة شعثاء تكثر بها الأصداف الصخرية شديدة الانحدار والأخاديد .



شكل (١٥) صخور متناثرة على سطح المريخ

٣ - استمر النشاط البركانى فوق المريخ حتى عهد قريب . ولا توجد فقط جبال بركانية بل وكذلك سهول تشكلت من حمم هذه البراكين .

ويوجد أضخم بركان فى المجموعة الشمسية وهو بركان « أولمبس مونس » حيث يصل قطره حوالى ٦٠٠ كم وطوله حوالى ٢٦ كم . وهذا البركان ليس إلا واحدًا من بين ٤ براكين عملاقة فى منطقة « تارسيس » فى نصف الكرة الشمالى .

٤ - يوجد بجوار الطاقية القطبية الشمالية حقول شاسعة من الكثبان فيما يسمى بحر الرمال الشمالى ، وهذه الظاهرة تتكرر كثيرًا فى مناطق أخرى من المريخ مما يوضح أن الرياح كان لها الدور الأكبر فى تشكيل سطح الكوكب فى ماضيه القريب . ويتكرر على المريخ وجود خطوط مضيئة ومعتمة تكونت فى بعض الحالات من ترسب مواد زاهية اللون وأخرى داكنة وهو ما يفسر الكثير من المناطق المضيئة والداكنة ، وكذلك ظاهرة القنوات التى تظهر فى الأرصاد الأرضية .



٥ - وقد أثبتت تجارب فايكنج أن التركيب الكيميائى لصخور السطح هو :

(أ) يمثل السليكون والحديد حوالى ثلثى مكونات العينات .

(ب) نسبة الكبريت ١٠٠ مرة مثلها فى القشرة الأرضية .

(جـ) البوتاسيوم $\frac{١}{٥}$ (خُمس) ما فى صخور الأرض .

(د) يمكن وصف المادة السطحية فى كلا موقعى الهبوط بأنها طَفْلة غنية بالحديد وهى تكسب المريخ لونه الصدئ .

٦ - اللب الداخلى صغير ومجاله المغناطيسى أقل من نصف مجال الأرض.

جو المريخ :

١ - من المعتقد أن كواكب المجموعة الأرضية فقدت أجواءها خلال مرحلة نشطة فى تطور الشمس ، وعلى ذلك فأجواء هذه المجموعة ذات مصدر ثانوى هو باطن الكوكب .

٢ - يشكل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء النسبة الكبرى من الغازات المنسابة وكذلك النيتروجين وقليل من الغازات الخاملة .

٣ - استمر ثانى أكسيد الكربون فى الجو محافظًا على نسبته العالية بينما تجمد الماء تحت السطح فقلت نسبته فى الجو بدرجة كبيرة وبذلك تكون نسب مكونات الغلاف الجوى للمريخ : ٩٥ ٪ ثانى أكسيد الكربون ، نيتروجين ٣ ٪ ، أكسجين ١, ، غازات خاملة وبخار ماء قليل جدًا وأول أكسيد الكربون بنسبة صغيرة جدًا (تكون بقية النسبة) .

٤ - قامت مركبتا الفضاء فايكنج برصد الأحوال الجوية لأكثر من عام مريخى وكانت نتيجة الرصد الآتى :

(أ) تراوحت درجات الحرارة بين ١٥٠ْ عند موقع فايكنج ٢ (الأكبر فى خطى العرض) إلى أكثر من ٢٥٠ْ مطلقة عند موقع فايكنج ١ (الأقرب إلى خط الاستواء) .



(ب) معدل تغير درجة الحرارة خلال اليوم بين ٣٥° - ٥٠° ولو أن العواصف الترابية تؤدى إلى تقليل مدى التغير .

(جـ) خلال الصيف فى نصف الكرة الشمالى ينخفض الضغط (متوسطه العادى حوالى $\frac{١}{١٧٠}$ على الأرض) لأقل معدل له بسبب تكثف الصقيع (من ماء وثانى أكسيد الكربون) على الطاقية القطبية الجنوبية .

(د) وخلال تلك الفترة كان الجو مستقرًا ومتوسط سرعة الرياح ٢ ميل / ساعة ولكن بحلول الخريف ازداد التغير من يوم إلى يوم ، وخاصة فى موقع المركبة الثانية وكانت الأعاصير تمر فوق الموقع بمعدل حوالى مرة كل أسبوع .

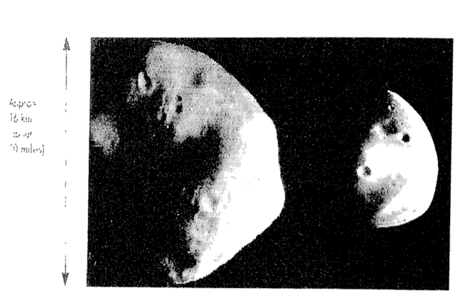
الماء على المريخ :

المريخ هو الكوكب الوحيد غير الأرض الذى فاضت فيه المياه على سطح الكوكب فى وقت ما .

١ - يتضح من فحص سطح المريخ أن الماء والرياح كان لهما دور كبير فى عمليات تشكيل الصخور بمساعدة الحرارة المنسابة من باطن الكوكب ، وكذلك غيرت الحفر الناشئة عن اصطدام النيازك وغيرها ، ومصدر إمداد الماء على الكوكب هو تلك البراكين التى تميز سطحه .

٢ - بالرغم من ذلك فإننا لا نرى أثرًا للماء فى حالة السيولة حاليًا . وفى الحقيقة فإن الضغط الجوى على المريخ صغير لدرجة أن أى ماء سائل يوجد فوق سطحه يتبخر مباشرة بما يشبه الانفجار ، وهذا يثير التساؤل : أين يوجد الماء على المريخ ؟

٣ - أثبتت الدراسات فى المنطقة تحت الحمراء وجود جزء من ماء المريخ متجمدًا فى الطاقية القطبية الشمالية (وكذلك ثانى أكسيد الكربون) . وعلى ذلك فإن الماء فى المريخ يوجد متجمدًا فى الطبقات السفلى من الطواقى القطبية ، وكذلك فى صورة جليد تحت السطح مختلطًا بالصخور .



شكل (١٦) قمرا المريخ فوبوس (إلى اليمين) وديموس (إلى اليسار)

الحياة على المريخ :

أثبتت تجارب البحث عن الحياة على الكوكب عدم وجود أى مركبات عضوية ، لكن لا يمكن الجزم بعدم وجود حياة على المريخ كنتيجة لهذه التجارب لعدة أسباب منها :

١ - أخذت العينات من موقعين محددين لم تتعداهما .

٢ - يجب البحث عن الحياة حيث يوجد الماء ، والماء يوجد تحت السطح أو فى المناطق القطبية . وفى هذا الصدد حدثت أمور طريفة نذكر منها :



(أ) فى سنة ١٩٥٧ اكتشف عالمان أمريكيان هما « سنتون ، سترونج » وجود خطوط طيف لمواد عضوية فى طيف المريخ وأعلنا ذلك النبأ السعيد ، لكن لم يثبت وجود مثل هذه الخطوط فى أية أرصاد أخرى ، فأعادا تحليل أرصادهما ، وفى سنة ١٩٦١ أعلنا أن هذه الخطوط لم تكن فى جو المريخ بل نتاج بخار لماء ثقيل وُجد فى جو الأرض وقت الرصد .

(ب) التقطت مركبة الفضاء (VI) صورة خادعة لما يشبه رأس إنسان تمتد فوق السطح حوالى ١,٥ كم وقد سميت وجه « المريخ » .

(جـ) كذلك التقطت مركبة الهبوط فايكنج ١ صورة لصخرة محفور عليها ما يشبه حرف B ، ولكن الواضح أن خداع الظلال وعوامل التعرية هى التى أبرزت كلا الشكلين .

ومن الجدير بالذكر أن مواد عضوية اكتشفت فى النيازك التى تسقط على الأرض ؛ ولذا كان الأمل كبيرًا فى اكتشاف مواد عضوية أو حياة أولية على سطح المريخ .

أقمار المريخ :

للمريخ قمران يسميان ديموس وفوبوس واكتشفا فى سنة ١٨٧٧ :

١ - **ديموس** : القمر الخارجى ، قطره ٧ - ٨ ميل ويبعد ١٤٦٠٠ ميل من مركز الكوكب وهو يدور حول الكوكب كل ١٨ دقيقة ٣٠ ساعة .

٢ - **فوبوس** : القمر الداخلى ، قطره ١٤ - ١٨ ميل ، ومتوسط بعده عن مركز الكوكب ٥٨٠٠ ميل ، ويكمل دورة كل ٣٩ دقيقة ٧ ساعة ، وهو الوحيد الذى يدور دورة حول الكوكب فى أقل من فترة دوران الكوكب حول نفسه لهذا فهو يشرق فى الغرب ويغرب فى الشرق بعد حوالى $\frac{1}{2}$ ٥ ساعة ، ثلاث مرات خلال اليوم المريخى .

أما ديموس فيمضى حوالى ١٣٢ ساعة ($\frac{1}{2}$ ٥ يوم) بين شروقين متتاليين نتيجة للحركة النسبية بينه وبين دوران المريخ .

نشأة أقمار المريخ :

فى سنة ١٩٧٨ أعلن كـل من « فان ثلاندرن » و « أوفندن » عن توصـلهما لأدلة تؤكد أن كوكـبا كان يوجد بين مولدى الـمريخ والمشترى حتى عـهد قريب (حـوالى ٥,٠٠٠,٠٠٠ سنة) وأن هـذا الكوكب تـحطم ونتـجت عنـه منطقـة الكويكبـات ، وتبعًا لذلك فقد رجـحا أن فوبوس وديموس من نتـاج هذا الحطام اجتذبهما المريخ ليدورا حوله فى مداريهما الحاليين .

٥ - ٧ السيارات العظمى :

كمـا سبق وذكـرنا تضم الـسيارات العـظمى المـشترى وزحـل ويورانوس ونبتون، وهى تشترك فى خصائص عامة سبق أن أوجزناها .

٥ - ٧ - ١ المشترى :

هو أكبر أفراد أسرة الشمس بعد الشمس نفسها .

معلومات عامة عن المشترى :

متوسط البعد عن الشمس ٥,٢٠ وحدة فلكية .

الكتلة = ٢,٥ قدر مجموع كتل بقية الكواكب .

= ٣١٨ قدر كتلة الأرض .

قطره = ١١ مرة قدر قطر الأرض = ١٤٠ ألف كيلو متر .

الكثافة = ١,٣ جم / سم^{٣} .

السنة = ١١,٨٦ سنة أرضية .

اليوم = ٩ س ، ٥٠ ق ، ٣٠ ث .

ميل المدار = ١° ١٨َ ١٧ً .

ميل الاستواء على مستوى المدار = ٣° ٥َ .

القدر عند الاستقبال المتوسط = - ٢,٧ .

وتشيـر هذه القيـمة الصغـيرة للكثافـة إلى أن المشـترى يتكون أسـاسًا من الهيدروجين والهليوم فـى حالتيهما السائلة والغازية حيث صاحـباه منذ نشأته لكبر

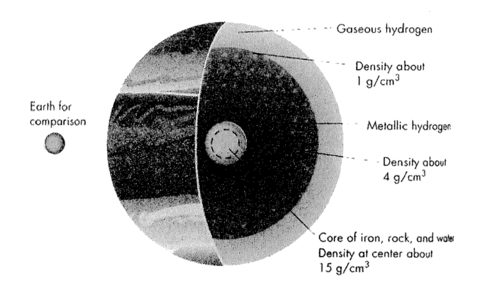
السرعة اللازمة للهروب منه حيث تصل إلى ٥٩,٦ كم / ث (بينما قيمتها على الأرض ١١,٢ كم / ث) . ولبعده عن الشمس فجوه العلوى شديد البرودة لا تزيد درجة حرارته عن ١٣٠ع k (- ١٤٣ْ م) حيث تتحرك جزيئات الهيدروجين بسرعة ١ كم / ث فقط . وقد تأكدت هذه النتائج من دراسات سفن الفضاء الأمريكية بيونير ١٠ ، ١١ و فويجر ١ ، ٢ .

التركيب الداخلى :

يمكن الاستدلال على التركيب الداخلى من نماذج فيزيائية تضم نوعين أساسيين من المعلومات ، أولاهما : أن كثافته الصغيرة وغلافه الهوائى يشيران لخلطة من مادة شبيهة بمادة الشمس ، وثانيهما : أن المشترى يشع إلى الخارج ضعف ما يستقبل من طاقة الشمس مما يعنى سخونة داخله وإن لم يكن للدرجة التى تجعل التفاعلات النووية تبدأ بداخله .

ودورة المشترى حول محوره دورة تفاضلية حيث تتراوح بين ٩ س ، ٥٠ ق عند خط الاستواء إلى ٩ س ، ٥٥ ق عند القطبين ، وهذا يؤكد أنه ليس صلبًا ، هذه الدورات تعنى أن سرعة الدوران عند خط الاستواء ٤٣٠٠٠ كم / ساعة مما جعله شديد الانبعاج (معامل الفلطحة حوالى $\frac{١}{١٥}$) لشدة تأثير الطرد المركزى للمادة عند خط الاستواء .

ويحيط جو المشترى بالكوكب كقشرة رقيقة لا يتعدى سمكها ١٠٠٠ كم ، وتتكون من جزيئات الهيدروجين . فإذا ما تعمقنا داخل الكوكب تزداد الكثافة ودرجة الحرارة والضغط ، لذلك يوجد الهيدروجين فى الحالة السائلة . فإذا ما وصل الضغط إلى ٢ مليون ضغط جوى تتفكك جزيئات الهيدروجين إلى بروتونات والكترونات تتحرك بحرية ويمكنها توصيل الكهرباء . هذه الحالة تسمى « الهيدروجين المعدنى » وقد أمكن حديثًا محاكاة هذه الحالة فى المعامل على الأرض . والهيدروجين المعدنى يبدأ من حوالى ١٤٠٠٠ كم من مركز الكوكب (شكل ١٧) . داخل هذه المنطقة يرجح وجود لب مكون من العناصر المكونة للصخور مثل الحديد والسليكون والأكسجين ، ويقال أحيانًا أن هناك طبقة ثلجية أسفل طبقة الهيدروجين .



شكل (١٧) نموذج للتركيب الداخلى لكوكب المشترى

وهذا لا يعنى إلا وجود مواد مثل الكربون والنيتروجين والأكسجين بالإضافة للهيدروجين ، فلا يمكن وجود ثلج فى تلك الحرارة الشديدة الارتفاع .

ملامح الجو وتركيبه :

إن القرص الذى نراه للمشترى (شكل ١٨) ليس سطحه بل جَوّه العلوى حيث نرى أحزمة موازية لخط الاستواء بعضها داكن وبعضها زاه ، وتسمى الزاهية بالمناطق (Zones) بينما الداكنة تسمى الأحزمة (Belts) . وانخفاض حرارة الأنطقة يشير إلى أنها أعلى من الأحزمة مما يعنى أنها قمم لمناطق تتجه لأعلى ذات ضغط مرتفع، بينما تميز الأحزمة مناطق منخفضة الضغط تهبط لأسفل. هذه التيارات فى جو المشترى تدفعها طاقة من باطن الكوكب مما يعنى سخونة باطنه.

وسرعة الدوران الهائلة للمشترى تدفع دورة الجو فتجعل كلا من الأنطقة مرتفعة الضغط والأحزمة منخفضة الضغط تمتد لتحيط بالكوكب تمامًا . كذلك تظهر تيارات نفاثة عند الفواصل بين الأنطقة والأحزمة فتنشأ اضطرابات جوية . والسرعة المعتادة للرياح ١٠٠ م / ث أى حوالى ٣ أضعاف سرعة التيارات النفاثة على الأرض .





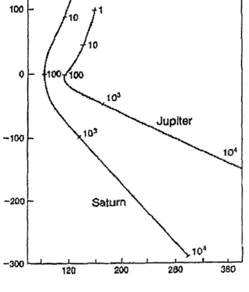
شكل (١٨) المناطق الزاهية (الأنطقة) والداكنة (الأحزمة) المحيطة بكوكب المشترى . وترى البقعة الحمراء الكبيرة على الكوكب .
ويلاحظ اللون البرتقالى الغالب والمميز للمشترى



وأشهر مظاهر الاضطرابات الدوامية فى جو المشترى هى « البقعة الحمراء الكبيرة » (شكل ١٨) وهذه البقعة متغيرة فى الحجم ومتوسط امتدادها ١٤٠٠٠ كم عرضًا و ٤٠٠٠٠ كم طولاً ، وبذلك يمكنها ابتلاع الأرض بسهولة ، وهى أبرد عدة درجات من المناطق المحيطة بها كما أنها تعلو فوقها بعدة كيلومترات ، وبذلك فهى منطقة ضغط مرتفع . وهذه البقعة تدور شرقًا مرة كل ٧ أيام .

والغلاف الجوى العلوى للكوكب يحتوى حوالى ٨٢ ٪ من كتلته هيدروجين و ١٨ ٪ هيليوم ، وآثار قليلة من العناصر الأخرى مثل الميثان والأمونيا ، وهو فى هذا مشابه للشمس لدرجة كبيرة . ومعظم تلك المواد موجودة فى صورتها الجزيئية .

والسحب التى تشاهد عند قمة المناطق الزاهية (الأنطقة) تتكون على الأرجح من بللورات الأمونيا والهيدروجين الجزيئى ، بينما تطفو تحتها سحب من الأمونيا السائلة والثلج المائى .



تغير درجة مع الارتفاع فى أجواء المشترى وزحل وقد اختير الارتفاع صفر مقابلا لضغط قدره ١٠٠ مللى بار والأرقام على المنحنيات تعنى قيمة الضغط

وسمك الغلاف الجوى بأكمله لا يزيد عن ١٠٠٠ كم ولا يوجد حد واضح بين باطن الكوكب وهوائه .

المجال المغناطيسى :

للمشترى مجال مغناطيسى قوى تصل شدته لحوالى ٢٠ إلى ٣٠ ضعف مجال الأرض . وقطبا هذا المجال معاكسان لقطبى الأرض ، وهذا ليس غريبًا ، فمجال الأرض نفسه يغير اتجاهه كل فترة .

وقد ساعدت شدة هذا المجال على نشوء حزامين مشعين كبيرين كحزامى

فان ألن وإن كانت كثافة الشحنات فيهمـا أعلى كثيراً . ومحور المجال يميل على محور الكوكب حوالى ١٠ درجات .

أقمار المشترى وحلقته :

عدد أقمار المشترى ستة عشر قمرا ، تقع ثمانية منها على أبعاد صغيرة من الكوكب (لا تتـعدى مليون كيلـو متر) ، بينما تتـزايد أبعاد أربعة منـها حتى ١٢ مليون كيلو متر ، ومستويات مدار الأقـمار تميل على مدار المشترى بزوايا تتراوح بين ٢٥° و ٣٥° . أما الأربـعة الأخرى فتدور عـلى مسافات بيـن ٢١ - ٢٤ مليون كيـلومتر فـى اتجاه عكسـى وفى مستـويات ذات ميـل كبيـر . وأربعة من أقـمار المشترى من أكبر أقمار المجموعة الشـمسية ، بل إن أكبرها « جانيميد » أكبر من كوكب عطارد، وأبعاد هذه الكواكب وأنصاف أقطارها موضحة فى الجدول التالى :

القمر	البعد (كم)	نصف القطر (كم)
Io	٤٢٢٠٠٠	١٨١٥
أوربا	٦٧١٠٠٠	١٥٦٩
جانيميد	١٠٧٠٠٠٠	٢٦٣١
كالستو	١٨٨٣٠٠٠	٢٤٠٠

ونتيجة لقوى المد ترتبط مدارات كل من Io وأوربا وجانيميد بحيث تحقق أطوالها السماوية العلاقة :

$$\lambda_{Io} - 3\lambda_{\text{أوربا}} + 2\lambda_{\text{جانيميد}} = 180^\circ$$

وبذلك لا يمـكن أن تُرى من المـشترى فى اتـجاه واحد . وهذه الأقـمار مختلفة فى كل شىء ، وخاصة فى الشكل فلا يتشابه اثنان منها .

Io : هو أقرب الأقمـار الكبيرة الأربعة للـمشترى ، وهو يتمـدد وينكمش فتنطلق منه حرارة يتأثـر بها الكوكب وكثافة Io أعلى كثافة بين أقـمار المجموعة الشمسـية ، كما أن عليـه براكين نشطة تطلق كـمًّا من الحمم فى صـورة كبريت وثانى أكسيـد الكبريت تخترق الغلاف المـغناطيسى للمشتـرى فتكون أيونات من الأكسجين والكبـريت . وتحدث تلك الأيونات تياراً كهربائـيًا يصل إلى حوالى ٥ مليون أمبير .

أوربا : هو ثانى هذه الأقـمار بعدًا عن المشتـرى وهو يتميز بدرجـة لمعان عالية جدًّا تشـابه درجة لمعان الزهرة ، وسبب ذلك وجود طبـقة من الثلج تغطى سطحه .

جانيميد : هو أكبر أقمار المجموعة الشمسية بل إنه أكبر حجمًا من عطارد.

كالستو : يتضح من الجدول أنه ثانى أقمار المشترى من حيث الحجم . أما بقية الأقمار فهـى بين صغيرة ومتوسطة ، وأربعة منها أقـرب للمشترى من I_O ، وكما هو الحال بالنسبة للأقمار الصغيـرة ، فإن أشكالها غير منتظمة ويمكن القول أن جميع أقمار المشترى تعطيه وجهًا واحدًا .

وتحتوى جمـيع الأقمار الداخلية بمـا فيها I_O على كمـية قليلة مـن الثلج وأغلب مادتها من الصخور . أما الأقمار الخارجية فأغلب مادتها من الثلج . ولذا فإن كثافـتها صغيرة. كـذلك تمتلئ أسطح الأقمار الـخارجية بالحفر الـناشئة عن اصطدام الـنيازك بهـا ، وهذا يشيـر إلى أنها أقـدم من الأقمـار الداخليـة . وقد اكتشفت حول المـشترى حلقة رقيقة تدور حول الكـوكب ، تتكون من حصوات صغيرة الحجم .

٥ - ٧ - ٢ زحل :

هو الكوكب التالى للمشترى بعدًا عن المشترى .

معلومات عامة عن زحل :

متوسط البعد عن الشمس = ٩,٥٣ وحدة فلكية .

ميل المدار = ٢,٥° .

السنة = ٢٩,٤٢ سنة أرضية .

طول اليوم = ١٠ س و ١٤ ق (عند الاستواء) .

ميل مستوى الاستواء على المدار = ٤٤َ ٢٩° .

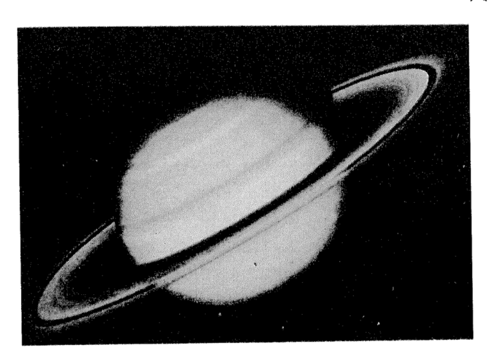
متوسط القطر = ٩ مثل قطر الأرض .

الكتلة = ٩٥,١٢ كتلة الأرض .

الكثافة = ٠,٧ جم / سم^3 .

سرعة الهروب = ٣٦ كم / ث .

درجة حرارة الجو ≥ ١٣٠° مطلقة .



عدد الأقمار = ١٨ قمرا .

عدد الحلقات = ٧ ، ثلاثة منها مرئية من الأرض .

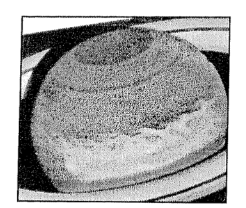
القدر عند الاستقبال المتوسط = ٦٧, .

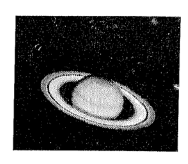
ويلاحظ من هذه الأرقام أن زحل ولو أن كتلته أقل من $\frac{١}{٣}$ كتلة المشترى إلا أنه يقاربه فى الحجم ، وسبب ذلك هو كثافته الصغيرة جدًا التى تجعله قادرًا على الطفو فوق الماء ، مما يعنى خلو باطنه من المواد الصخرية وثرائه فى العناصر الخفيفة . ودوران الكوكب حول محوره تفاضلى (يتغير مع خط العرض) حيث تصل الدورة قرب القطبين إلى حوالى ١٠ س و ٣٩ ق . ويغلب على مظهر زحل اللون الأصفر (شكل ١٩) .

جو زحل :

يماثل جو المشترى وأحزمته (شكل ١٩) موازية لخط الاستواء تدفعها سرعة الدوران الكبيرة . والتغيرات فى تلك الأحزمة نادرة مقارنة بالمشترى . وتحدث فى جو زحل عواصف متوسطة على فترات كل حوالى ٣٠ سنة (أرضية) وبالتقريب فى منتصف الصيف فى نصف الكرة الشمالية وقد تستمر عدة أسابيع .

وجو زحل يتكون تقريبًا من نفس مكونات جو المشترى ، أساسًا من الهيدروجين والهليوم - ولكن الهليوم يمثل نصف نسبته على المشترى .





شكل (١٩) (a) كوكب زحل وحلقاته

(b) عاصفة كبرى فى جو زحل (مرصد هبل الفضائى)

وتتكون السحب على ارتفاعات منخفضة ، كما يتكون ضباب مرتفع يحجب عنا رؤية الكوكب . أما سرعات الرياح فهى أعلى كثيرًا منها على المشترى فتصل إلى ٥٠٠م / ث بالقرب من خط الاستواء ، وحين تثور العواصف العاتية تستمر عدة سنوات (أرضية) .

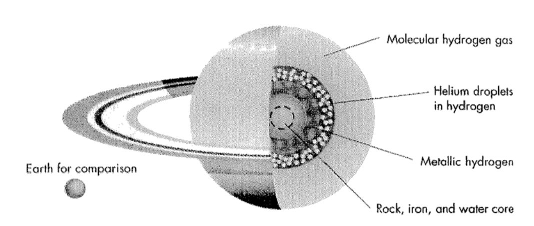
باطن زحل :

يعكس الترتيب الداخلى لزحل تركيب المشترى وهو تقريبًا نفس تركيب الشمس . وهو يتكون من لب من مادة صخرية قطره ٢٠٠٠٠ كم وكتلته ٢٠ أرض (وقد لا يوجد هذا اللب من أساسه) ودرجة حرارة الباطن حوالى ١٥٠٠٠ْ مطلقة يتلوها منطقة صغيرة نسبيا من الهيدروجين المعدنى ثم منطقة كبيرة من الهيدروجين السائل مثله مثل المشترى .

وكوكب زحل يشع من داخله ما يعادل ١,٨ مثل الطاقة التى يستقبلها من الشمس .

المجال المغناطيسى :

أوضحت الدراسات الراديوية وتلك التى أجرتها سفن الفضاء وجود مجال مغناطيسى قوى يميل محوره درجة واحدة على محور الكوكب . وقد ساعد هذا المجال على وجود أحزمة إشعاعية كبيرة مشابهة لأحزمة فان ألن وكذلك فى اجتذاب الجسيمات المشحونة الصادرة عن الشمس .



أقمار زحل وحلقاته :

يدور حول زحل ثمانية عشر قمرا وسبع حلقات تُرى منها على الأرض ثلاث حلقات. وأكبر أقمار زحل هو القمر تيتان وهو ثانى أقمار المجموعة الشمسية بعد جانيميد ، ثم يلى تيتان فى الكتلة ٨ أقمار متوسطة ، والباقية أقمار صغيرة أشكالها غير منتظمة . وأبعد أقمار زحل يسمى « فوب » يبعد تقريبًا أربعة أمثال بقية الأقمار ويتحرك حركة تقهقرية .

القمر تيتان :

قطره حوالى ٥١٢٠ كم ودرجة حرارة سطحه ٩٤° مطلقة . أما كتلته فثلاثة أمثال كتلة القمر . ولتيتان غلاف جوى أعمق من غلاف الأرض يصل الضغط فيه إلى ١,٥ جو ، ويتكون هذا الجو من النيتروجين بنسبة تزيد عن ٨٠ ٪ ونسب أقل من الهيدروجين والأرجون والميثان وهيدروكربونات أخرى . كذلك رُصدت فى جوه جزيئات سيانيد الهيدروجين (HCN) وهى عادة ما تبدأ سلسلة تفاعلات قد تنتهى بحامض « داى أكس ريبوتوكلوريد » (DNA) وهو أساس العمليات الوراثية على الأرض ، وبذلك فوجوده يجعل من غير المستبعد احتمال وجود نوع من الحياة .

وتوجد على تيتان طبقات عديدة من السحب أقربها للسطح سحب من الميثان حيث يمكن فى درجات الحرارة المنخفضة السائدة أن يتواجد فى صوره الصلبة والسائلة والغازية ، وهذا يعنى وجود أمطار من الميثان وبحيرات من الميثان السائل ، كذلك من المحتمل وجود بحيرات من النيتروجين السائل .

والارتفاع النسبى لكثافة القمر (٢ جم / سم^{٣}) يشير لوجود مواد صخرية إضافة للثلوج ، كما أن وجود النيتروجين قد يعنى وجود نشاط بركانى قديم .

القمر إنكليديوس :

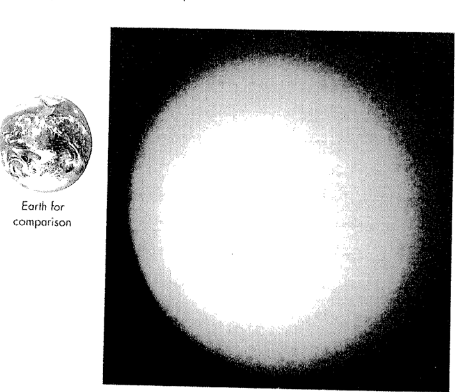
هو أكثر الأجسام عكسًا للإشعاع فى المجموعة الشمسية ، حيث يعكس كل ما يسقط عليه من أشعة الشمس . وسبب ذلك وجود طبقة من الثلوج المتبلرة، وهذا التبلر يعنى تعرض القمر لحرارة أدت إليه .

الحلقات :

تتكون من حبيبات تتراوح بين عدة سنتيمترات وعدة أمتار وتتكون أساسًا من الثلج ولذلك فعاكسيتها عالية ، والحصوات والصخور المكونة للحلقات تدور حول الكوكب متجمعة فى صورة تلك الحلقات وإن كان لكل منها مداره الخاص.

٥ - ٧ - ٣ يورانوس :

يلى زحل فى بعده عن الشمس وقد اكتشفه وليم هرشل سنة ١٧٨١ م .



كوكب يورانوس (فويجر ٢)

معلومات عامة عن يوارنوس :

متوسط البعد عن الشمس = ١٦,٢٤ وحدة فلكية .

ميل المدار = ٢٣° ٤٦' .

السنة = ٨٤,٣٦ سنة .



طول اليوم = ١٧ س و ١٤ق .

ميل مستوى الاستواء على المدار = ٥٢َ ٩٧ْ .

نصف القطر الاستوائى = ٢٥٥٩٩ كم = ٤,٠١ مثل الأرض .

الكتلة = ١٤,٥٤ كتلة أرضية .

الكثافة = ١,٢٧ جم / سم٣ .

سرعة الهروب = ٢١,٣ كم / ث .

درجة حرارة السطح = ٧٦ْ مطلقة .

عدد الأقمار = ١٥ قمراً

عدد الحلقات = ١١ حلقة .

القدر عند الاستقبال المتوسط = ٥,٥٢ .

الملامح الجوية والفيزيائية :

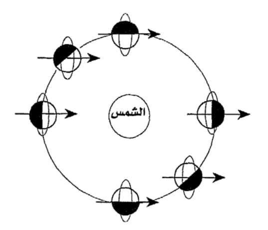
الجو العلوى ليورانوس شديد البرودة ويتكون أساسًا من الهيدروجين الجزيئى والهليوم والميثان . ولون الكوكب واضح الزرقة ، وسبب ذلك ارتفاع نسبة الميثان فى الجو ، فعندما يخترق ضوء الشمس الغلاف الجوى يمتص جزءاً كبيراً من الأشعة الحمراء بينما ينعكس الكثير من اللونين الأزرق والأخضر فيكسبانه هذا اللون . والميثان يشغل الطبقات العليا من الجو بعكس المشترى وزحل حيث تعلوه هناك غازات أخرى تكسبها ألوانًا مختلفة . كذلك لم تكتشف أى تفاصيل أو أحزمة مثل تلك السائدة فى كل من المشترى وزحل .

ومحور دوران الكوكب يميل على محور المدار حوالى ٩٨ْ ، أى أن قطبه الشمالى إلى أسفل ، ولهذا فحركته تراجعية بل وغريبة . والأغرب أن حلقاته وأقماره تأخذ نفس الميل وشكل الحركة العجيب .

وقد أوضحت أوليات أرصاد المركبة فويجر فى يناير سنة ١٩٨٦ وجود سحب من النشادر تقبع تحت طبقة كثيفة من الضباب ، وتبدو السحب مخططة بصورة دقيقة ، كما تجرف الرياح السحب فى نفس اتجاه دوران الكوكب ، وفى بعض الأحيان تظهر فى الجو العلوى سحب فجائية تنتج من طفو فجائى عنيف للطبقات السفلى من الجو .



وتتراوح تقديرات دورة الكوكب حول محوره (طول اليوم) بين ١٧ ساعة عند خط الاستواء و١٥ ساعة عند القطبين . وكنتيجة لوقوع محور دوران الكوكب تقريبًا فى مستوى المدار ، فإن يورانوس يعرض قطبيه للشمس بالتبادل لمدة ٤٢ سنة فى كل مرة حيث تكون منطقة قطبه المواجه للشمس نهارًا بينما منطقة القطب الآخر مظلمة فى ليل يستمر طوال نفس المدة أى ٤٢ سنة ، ويتضح هذا من الشكل (٢٠)



شكل (٢٠) الليل والنهار فى المناطق القطبية للكوكب يورانوس حيث يستمر كل منهما حوالى نصف العام على يورانوس (٤٢ سنة أرضية)

وصغر كثافة يورانوس (حوالى ١,٣ جم / سم٣) تعنى احتواءه أساسًا على مواد خفيفة ، ويعتقد أنه يتكون على وجه التقريب من ١٥ ٪ هيدروجين وهيليوم و ٦٠ ٪ مواد ثلجية (ماء وميثان وأمونيا) و ٢٥ ٪ مواد أرضية (سليكات وحديد) . ويختلف تركيبه الداخلى كثيرًا عن المشترى وزحل ، وقد يشتمل على لب صخرى صغير (فى حجم الأرض تقريبًا) تحتويه قشرة ثلجية أو مائية بها بعض المواد الصخرية .

أقمار يورانوس وحلقاته :

يدور حول يورانوس ١٥ قمرًا صغيرًا تتراوح أقطارها بين ٥٠٠ و ١٦٠٠ كم ، اكتشفت عشرةً منها سفينة الفضاء فويجر ، وكل هذه الأقمار يتساوى دورانها حول نفسها مع دورانها حول الكوكب وبذلك تعطيه نفس الوجه .

وأسطح تلك الأقمار معتمة فى الغالب ويقع بعضها داخل الحلقات . ويحتمل وجود براكين وأنشطة جيولوجية أخرى على القمر ميرندا ، فقد شوهدت عليه جبال شاهقة ومنحدرات حادة ، وهو أقرب هذه الأقمار إلى الكوكب .

أما الحلقات فعددها إحدى عشرة حلقة ، وهى رقيقة جدًا مثلها مثل حلقات المشترى ، وتتكون من أحجار متجانسة فى حدود المتر عكس حلقات زحل التى تتفاوت أحجارها فى الأحجام .

المجال المغناطيسى :

لكوكب يورانوس مجال مغناطيسى ينحرف حوالى ٥٩ْ عن محور الدوران ، والقطب الشمالى المغناطيسى قريب من القطب الجغرافى الجنوبى . ويدور هذا المجال دورة كل ١٧ ساعة و ٢٠ دقيقة ، وقد اعتبرت هذه دورة الكوكب حول محوره لصعوبة تعيين هذه الدورة بطرق أخرى حيث إن الكوكب عديم الملامح . ومحور المجال لا يمر بمركز الكوكب ، وهو من الشدة بحيث نشأت أحزمة مشعة ثابتة ، ولذلك يمكن توقع وجود شفق قطبى وقد تم رصد هذا الشفق فى ليل يورانوس بواسطة فويجر .

٥ - ٧ - ٤ نبتون :

هو الكوكب التالى ليورانوس بعدًا عن الشمس .

معلومات عامة عن نبتون :

البعد عن الشمس = ٣٠,١١ وحدة فلكية .
الكتلة = ١٧,١٥ كتلة الأرض .
السنة = ١٦٤,٧٩ سنة أرضية .
الكثافة = ١,٧ جم / سم^3 .
ميل المدار = ١ْ ٤٦َ ٢٣ً .
سرعة الهروب = ٢٣,٥ سم / ث .
اليوم = ١٦ س و ٣ ق .
العاكسية = ,٥ .
ميل استوائه على المدار = ٢٩ْ ٣٤َ .
عدد الأقمار = ٨ .
قطره المتوسط = ٣,٨٦ من قطر الأرض .
القدر عند الاستقبال المتوسط = ٧,٨٤ .

ومن ذلك يتضح أنه كوكب خافت تستحيل رؤيته بالعين المجردة ، وقد تم حساب موقعه ، ثم اكتشف بعد ذلك سنة ١٨٤٦ م . وبرغم أنه الكوكب الثامن

إلا أنه يظهر كما لو كان التاسع عندما يكون بلوتو فى أقرب أوضاعه من الشمس.

الخواص الفيزيائية :

مثله مثل يورانوس يظهر نبتون بزرقة واضحة سببها الميثان فى جوه الذى يتكون من الهيدروجين الجزيئى والهيليوم مع وجود الميثان كمكون ثانوى .

وقد أوضحت الأرصاد فى المنطقة تحت الحمراء أن درجة حرارة نبتون ٦٠° مطلقة ، وهى وإن كانت تشير لقدر ما يسود الكوكب من زمهرير إلا أنها تشير لانبعاث طاقة من باطن الكوكب تساهم فى تسخينه وتسخين جوه إضافة لطاقة الشمس ، فلو كان التسخين فيه بواسطة الشمس فقط لما زادت درجة الحرارة عن ٤٤° . وتقدر الطاقة التى تنبعث من داخل نبتون بثلاثة أمثال ما يستقبله من الشمس، وهذا القدر بالنسبة لكتلته يعتبر أكبر مما يبعثه كل من المشترى وزحل .

ملامح الجو :

طبقة جو نبتون الخارجية شفافة ويبدو الغلاف الجوى فى حالة نشاط حيث نشاهد فيه بعض مظاهر الطقس . وأهم الملامح التى كشفت عنها سفينة الفضاء «فويجر» تعرف بالبقعة الداكنة الكبيرة شكل (٢١) ، وهى أعاصير معتمة تمتد حوالى ٣٠٠٠٠ كم وتدور تجاه الغرب مكملة دورة كل عدة أيام وتفتقر إلى الميثان ، يصاحب هذه البقعة سحب زرقاء يتغير حجمها وشكلها من دورة لأخرى ، ويُعتقد أنها ميثان متكثف . والأرجح أن هذه السحب تقع فوق طبقة السحب العادية التى تتكون من كبريتيد الهيدروجين . وتوجد كذلك بقع داكنة وزاهية أخرى قليلة نتيجة الحركة الرأسية للهواء، ولكن لا تبدو هناك أحزمة مثل تلك الموجودة فى المشترى وزحل .

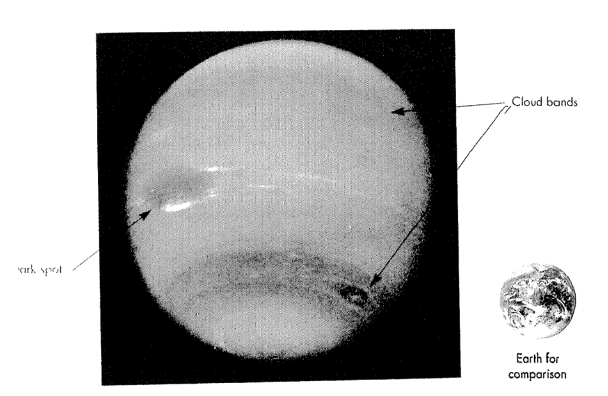
ومن المدهش - بعكس يورانوس - أن يكون النشاط الجوى بطاقة من داخل الكوكب .

المجال المغناطيسى :

تمكنت فويجر من التقاط إشارات راديوية صادرة من الكوكب ، وقد استخدمت تلك الإشارات فى تحديد فترة دوران الكوكب حول محوره بدقة وقدرها ١٦ ساعة و ٣ دقيقة . وقد قدرت شدة المجال المغناطيسى للكوكب بحوالى $\frac{1}{5}$ شدة مجال الأرض وهو مجال شديد الغرابة إذ يميل محوره ٤٧° على محور دوران الكوكب حول نفسه ، وهو ميل مساو على وجه التقريب نظيره على يورانوس ، كذلك يبعد هذا المحور كثيراً عن مركز الكوكب تجاه الجنوب .

أقمار نبتون وحلقاته :

عدد أقمار نبتون ثمانية اكتشفت فويجر ستة منها. وما اكتشفته فويجر أقمار



صغيرة قريبة من الكوكب وحركتها من الغرب إلى الشرق (عادية) أما القمران الآخران ففيهما بعض الغرابة وهما ترايتون وتيريد .

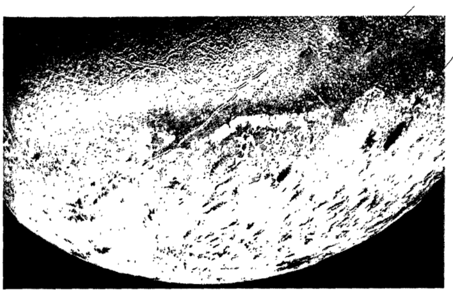
القمر ترايتون :

يتحرك فى مدار تراجعى وكثافته ٢,١ جم / سم٣ ويشبه بلوتو فى الحجم والتركيب الداخلى له ٧٥ ٪ مادة صخرية و ٢٥ ٪ مادة ثلجية . ويوجد على سطح هذا القمر ثلج يتكون من ماء ونيتروجين وميثان متجمدة، ولذلك فعاكسيته كبيرة جداً (٨,) ودرجة حرارة سطحه صغيرة جداً (٣٥° - ٤٠° مطلقة) . ويوجد لترايتون غلاف جوى رقيق ، الضغط فيه $١٠^{-٥}$ جو، هذا الغلاف متجمد نتيجة البرودة الشديدة فيما عدا قليل من النيتروجين ، ويوجد كذلك طواقى قطبية على هذا القمر .

شكل (٢١) كوكب نبتون وقمره ترايتون والبقعة الداكنة الكبيرة

والقمر ترايتون يبدو نشطًا جيولوجيا ، حيث توجد براكين نشطة وإن كانت

الغازات تخرج منها متجمدة . ولذلك تسمى بَراكين ثلجية ، وبالطبع فإن هذه المادة البركانية لا تأتى من باطن الكوكب بل من طبقة قريبة من السطح ، وبذلك ينفرد هذا القمر والقمر Io والأرض بالنشاط الجيولوجى المستمر حتى الآن . وتوجد على السطح حفر مستديرة وتشققات توضح أن القشرة الخارجية تكسرت وتزحزحت بفعل طاقة داخلية شكل (٢٢).



شكل (٢٢) نصف القمر ترايتون المواجه لكوكب نبتون ، وتبدو فى الصورة طاقيته القطبية الجنوبية

القمر تيريد :

يدور بعيدًا عن الكوكب وهو صغير جدًا ومداره تراجعى شديد الاستطالة ، حتى أن النسبة بين أقل بعد له عن الكوكب وأكبر بعد ١ : ٥ .

حلقات نبتون :

يدور حول نبتون ٣ حلقات رقيقة معتمة يصعب رؤيتها وهى تتكون من أحجار صغيرة . ويوجد نطاق آخر من الحبيبات بالقرب من الكوكب . وتدور بعض الأقمار الصغيرة المكتشفة حديثًا داخل هذه الحلقات .



٥ - ٨ بلوتو :

متوسط بعد بـلوتو عن الشمس هو الأكبر بين متـوسطات أبعاد الكواكب . وقد كـان البحث عـن كل من نبتـون وبلوتو واكـتشافـهما نتـاج اختلاف مـواقع يورانوس التى تشاهد بالأرصاد عن تلك التى نحصل عليها بالحساب . وقد انتهى البحث المضنى عـن بلوتو باكتشافه فى مارس سنة ١٩٣٠ ، ومـعلوماتنا عن هذا الكوكب مـا زالت ضعيفـة حيث لم تره أى من سفن الـفضاء ، ودراسته تـحتاج لأقوى المناظير ، وتوجد نظرية مؤداها أنه كـان قمرا لنبتون مع ترايتون ثم حدث بينهما اقـتراب أكثر من اللازم نتج عنه أمران : عكـس دوران ترايتون فى مداره ، بينما طرد بلوتو من مداره فدار حول الشمس بدلاً من دورانه حول نبتون .

معلومات عامة عن بلوتو :

متوسط البعد عن الشمس = ٣٩,٤٤ وحدة فلكية .

الاختلاف المركزى = ٠,٢٥٣ .

ميل المدار = ١٧° .

السنة = ٢٤٨,٥ سنة أرضية .

فترة الدوران حول المحور = ٦,٣٩ يوم .

ميل محور الدوران على محور المدار = ١١٢,٥° .

القطر = ٢٢٤٠ كم .

الكتلة = ٠,٠٠٢٢ كتلة أرضية .

العاكسية = ٠,٦ .

سرعة الهروب = ١,٢ كم / ث .

الكثافة = ٢ جم / سم٣ .

الخواص المدارية والفيزيائية :

نظرًا لشدة استطالة مدار بلوتو فإنه ينأى عن الشمس حتى يصل لبعد ٤٩,٣ وحدة فلكية . وبذلك لا يقتـرب من الأرض لأقل من ٢٨,٧ وحدة فلكية . وقد وصل بلوتو للحضيض الشمسى فى ٢١ يناير سنة ١٩٧٩ م . وبذلك سيظل أقرب للشمس من نبتون حتى مارس ١٩٩٩ م .

وحـيث إن ميـل محـوره يميـل ١١٢,٥° على مـحور الـمدار ، فـدورانه تراجعى، وفى الوقت الحالى يواجه خط اسـتوائه الشمس ، بينما خلال ٦٠ سنة سوف يواجه قطبه الشمس ، تمامًا مثلما يحدث مع يورانوس .

وسطح بلـوتو مغطى بثلـوج من الميثـان ، فهو سطح بارد لا تـزيد درجة حرارته عن ٦٠° مطلقة حتى خلال ساعات النـهار . كذلك تشير الأرصاد الحديثة لوجود ثلوج من النيتروجين وأول أكسيد الكربون ، لذلك فعاكسيته كبيرة .

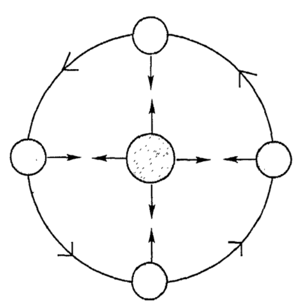
ولبلوتو غلاف جـوى تأكد وجوده سنة ١٩٨٨م ، ويمتـد حوالى ٦٠٠ كم من سطح الكوكب والضـغط فيه حوالى ١٠$^{-٨}$ جو ، ويشتمـل هذا الغلاف على نيتروجين وأول أكسيد الكربون والميثان الذى يتحرر من الجليد عندما يقترب بلوتو من حضيضه الشـمسى ، بينما تتجمد معظم مكونات الـغلاف الجوى عندما يصل الكوكب لأوجه الشمسى (أبعد مسافة عن الشمس) حيث تنخفض درجة الحرارة إلى ٤٥° مطلقة .

ويتكون بلوتو من ٧٥ ٪ مواد صخرية ومعدنية و ٢٥ ٪ مواد ثلجية .

القمر شارون :

اكتـشف هذا القمـر سنة ١٩٧٨م وقطره $\frac{١}{٢}$ قـطر بلوتو فلـو نسبناه لـحجم كوكبه يكون أكبـر أقمار المجموعة الشمسيـة وهو يبعد ١٩١٠٠ كم عن بلوتو . وتظهر الـدراسات الطيفيـة وجود ثلج مائى علـى سطح شارون وليس المـيثان ، وربما احـتوى يومًا عـلى الميثـان إلا أن صغر جاذبـيته السطـحية لم تمـكنه من الاحتفاظ به (كـتلته ٠,٠٠٤ كتلة أرضية) فـيظل ملتصقًا به فى حـالة تجمد ، لذلك لا يتكون لهذا القمر جو قرب الحضيض الشمسى كما يحدث لبلوتو .

ويكمل شارون دورة فى مداره حول بلوتـو كل ٦,٣٩ يوما وهى نفس فترة دوران الكوكب حول محوره (شكل٢٣) لذلك فهـو القمر الوحيـد الذى يبدى للكوكب وجهًا ثابتًا وكذلك يظهر له الكوكب دائمًا نفس الوجه .



شكل (٢٤) يعطى كل من بلوتو وشارون للآخر وجها ثابتا بسبب تساوى دورة شارون فى مداره مع دورة بلوتو حول محوره

٥-٩ المذنبات :

عرفت المذنبات وورد ذكر أشهرها فى معظم الحضارات القديمة ، حتى أن بعضـها مسجل منذ سـنة ٢٤٠ قبل الميلاد ، لـكنها وحتى وقت قـريب لم تكن تعتبر أجرامًا سماوية ، فقديمًا عرفها أرسطو بأنفاس تخرج من الأرض ، فلا تكاد تصعد فى الجو حتى تلتهب ، وظل الـقدماء يرون الشؤم فى ظهورها ، حتى قال أبو تمام ردًا على من خوفوا الناس منها قبل موقعة عمورية :

وخـوفوا النـاس من دهيـاء مظلمـة

إذا بدا الـكوكب الغـربى ذو الـذنب

وصيـروا الأبـرج الـعليـا مـرتبـة

مـا كـان منقلـبًا أو غـيـر منـقلـب

يقـضون بـالأمر عـنهـا وهى غافـلة

مـا دار فى فـلك مـنهـا وفـى قطـب



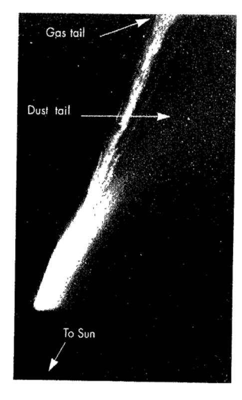


وكان أول بحث علمى عـن المذنبات هو بحـث تيكوبراها عـن مذنب لامع ظـهر سنة ١٥٧٧م ، كـما وصف كـيلر بإسـهاب مذنبًا ظهر سنة ١٦٠٧ ، وهو ما عرف فيما بعـد بمـذنب هالـى ، وقد تـبنى فـكرة أن المذنبـات ما هى إلا أجرام سمـاوية ، لكنه ظنها تسير فى خطوط مستقيمة .



مذنب كوهوتيك

وبعض المذنبات يمكـن رؤيتها بالعين المجردة فتبدو بقعًـا باهتة من ضوء مشعشع تقل مـساحـته عن قطـر القمـر وهو بدر . ولبعضها ذيل باهت معـتم يمتد خلفها بطول يشغـل عدة درجات فى الـسماء (أى يمـتد عـشـرات بل ومـئـات الآلاف من الـكيـلو متـرات) بعـيدًا عن المـذنب. ومثـلها مـثل الكواكب والـقمر فإنهـا تنزاح على صفـحة السـماء مـن ليلة لأخـرى ، وتظـل مرئيـة لفترات تـتراوح ما بين أيام قلائـل إلى أشهر قليلة أو سنين .



مذنب هالى وذيله الممتد بطول ٥ ويلاحظ وجود الزهرة فى الصورة

والمـذنبـات كتل مـن الثلج والأتـربة بـقطـر حـوالـى ١٠ كـم أو أقل ولا تـرى المذنبات بعيدًا عن الشمس ، فإذا ما اقتربت عن حـوالى ٢ وحـدة فـلكيـة تبـدأ حـرارة الشمس فى إذابة الجليد فيتكون من الغازات المنسابـة غلاف يحيط بالنواة فيـكونان سويًا رأس المـذنب وهـى ألمع جـزء فـيه ويـدفع

ضغط الإشعاع والرياح الشـمسية الغاز والأتربة بعيدًا عن الشـمس . فينتج الذيل الممتد المميز للمذنبات .

ويشير الذيل دائمًـا بعيدًا عن الشمس . وعادة يوجـد ذيلان ، أحدهما من الغاز والآخر من الأتـربة ، فتندفع الأيونات الغازية بـتأثير الرياح الشمسـية مكونة للذيل الغازى ، وبعض ضوء هذا الذيل ينعـكس عليه من الشمس ، إلا أن معظم ضيائه تشعه ذرات فيه مستثارة . أما الذيل الترابى فسببه ضغط الإشعاع الشمسى . وحيث إن سرعات جـسيمات الذيل الترابى أقل من سرعـات الذيل الغازى يكون انحناء الذيل الترابى عادة أكبر من انحناء الذيل الغازى .

ومادة المـذنبات غير مـتماسكة بـأى صورة ، وقد يتحـطم المذنب بتـأثير تسخين الشمس لسطحه ، وقـد حدث هذا لمذنب « وست » سنة ١٩٧٥ (فتجزأ إلى ٤ أو ٥ أجزاء بـعد مروره بنـقطة الحضـيض) وحدث سنة ١٩٩٥ الـمذنب شوميكر ليفى لدى اقـترابه من المشترى حيث تحطم تمامًـا وسقط فوق سطحه . والمذنبات أشيـاء سريعة الزوال ، فهى لا تعمر لأكثـر من آلاف قليلة من دورانها حول الشمس أو المذنبات قصيرة الدورة وهى تـقضى فترات قصيرة هنا فى الجزء المركزى للمجموعة الشمسية .

والمذنبات تتحطم سريعًا قرب مركز المجموعة الشمسية ، لذا لابد أن هناك مصدرا لمذنـبات جديدة قصيرة الدورة وتبـعًا لأكثر الفروض قبولاً تـوجد سحابة كبيرة من المذنبات تسمى « سحابة أورت » تحيـط بالمجموعة الشمسية وتمتد من حوالى ١٠ - ١٠٥ ألف وحدة فلـكية من الشمس ويقدر عدد المـذنبات فى تلك السحـابة بحوالى ٢٠٠ ألف مليـون مذنب كتلتهـا الكلية حوالى ١,٠ مـن كتلة الأرض .

وأشهر الـمذنبات الدورية مـذنب هالى ، ودورته حوالـى ٧٦ سنة ، وكان آخر ظهـور له سنة ١٩٨٦ ، حيث تم رصـده باستخدام مـجسات الفضـاء حيث أمكن الوصـول لنواته الصـلبة لأول مرة وهـى على شكل ثمـرة الفول السـودانى القصيرة وأبعادها ٧ × ١٣ كم ، وسطحها مـغطى بمادة شديدة العتامة . واقتراب



المذنبات من الأرض لا يسبب أى خطورة عليها . فالخطر لا يأتى إلا من الاصطدام المباشر بالأرض ، ولكن هذا الاحتمال لا يكاد يكون له وجود حيث يجتذب المشترى أى مذنبات تتحطم فتسقط عليه بدلاً من أن تسقط على الأرض.

٥-١٠ الشهب والنيازك :

الأجسام الصلبة الأصغر من الكويكبات تسمى الشهابيات (Meteoroids) وعندما تصطدم الشهابيات بجو الأرض تُحدث ضوءًا وهاجًا نسميه بالشهب ، وأصغر كتلة يمكن أن تحدث هذه الظاهرة مقدارها ١ جم ، أما الأصغر منها فتسمى الميكروشهابيات (Micrometeoroids) ويمكن الكشف عنها بالرادار وبأجهزة خاصة تحملها الأقمار الصناعية .

ومعظم الشهابيات صغيرة الحجم وتفنى فى الغلاف الجوى على ارتفاع حوالى ١٠٠ كم وتسمى فى هذه الحالة « الشهب » (Meteors) . أما ما يصل منها لسطح الأرض فيسمى « النيازك » وتتراوح سرعات الشهابيات ما بين ١٠ - ٧٠ كم / ث ولا تتأثر سرعة الكبير منها بمروره فى جو الأرض فتصطدم بسطحها بهذه السرعات الكونية الكبيرة وتحدث حفراً ضخمة ، أما الصغيرة منها فتبطئ وتسقط كالحجارة .

وقد أمكن العثور على آلاف من النيازك ، وأفضل الأماكن للعثور عليها القارة المتجمدة الجنوبية حيث تحمل مع الجليد إلى حافة القارة .

وحوالى ربع ($\frac{١}{٤}$) النيازك تتكون من النيكل والحديد وتسمى النيازك الحديدية ، وهى وإن كانت أقلية إلا أن قدرتها أكبر على اختراق الغلاف الجوى والوصول لسطح الأرض ، أما الثلاثة أرباع ($\frac{٣}{٤}$) الأخرى فهى نيازك صخرية .

ونرى كثيرا من الشهب فى صورة رخات تبدو كما لو كانت آتية من مصدر أو مركز واحد ، وتسمى بأسماء الكوكبات التى يقع فيها هذا المركز كما فى الجدول التالى :

الاسم	التاريخ المتوسط	السرعة كم/ ث	عدد الشهب / ساعة الحد الأقصى	المتوسط	المذنب المصاحب	دورته (سنة)
كوادرانتيد	٣ - ٤ يناير	٤٣	١١٠	٣٠	-	٧
ليريد	٢١ - ٢٣ أبريل	٤٨	١٢	٨	I ١٨٦١	٤١٥
إيتا إكواريد	٢ - ٦ مايو	٥٩	٢٠	١٠	هالى	٧٦
دلتا أكواريد	٢٧ - ٣٠ يوليو	٤٣	٣٥	١٥	-	٣,٦
بيرسيد	١١ - ١٢ أغسطس	٦١	٦٨	٤٠	III ١٨٦٢	١٠٥
أوريونيد	٢٠ - ٢١ أكتوبر	٦٦	٣٠	١٥	هالى	٧٦
توريد	٤ - ٨ نوفمبر	٣٠	١٢	٨	إنك	٣,٣
ليونيد	١٦ - ١٧ نوفمبر	٧٢	١٠	٦	I ١٨٦٦	٣٣
جمينيد	١٣ - ١٤ ديسمبر	٣٧	٥٨	٥	إكيبا	١,٦

خصائص بعض رخات الشهب

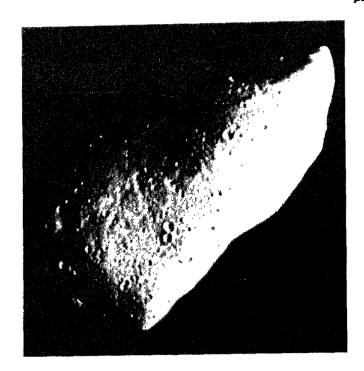
وكثير من هذه الرخات تتبع مدار أحد المذنبات المعروفة ، لذا فإنه يعتقد أن بعض الشهابيات مصدرها هذه المذنبات ، وخاصة ما يتم منها .

ويمكن تقسيم الشهابيات إلى ٣ مجموعات متقاربة فى الحجم : الأحجار العادية وتسمى « شوندرايتس » والشوندرايتس المكربنة الضعيفة ،أما الثالثة فتكون من مادة المذنبات وهذه لا يمكنها البقاء على الأرض .

٥ - ١١ الكويكبات :

تدور الكويكبات حول الشمس أساسًا بين المريخ والمشترى وتقع معظمها فى حزام الكويكبات على مسافات بين ٢,٢ - ٣,٣ وحدة فلكية من الشمس . وقد اكتشف أولها سنة ١٨٠١م وقد أحصى منها ٥٠٠٠ حتى الآن . ويقدر عدد ما يزيد منها عن ٥٠٠ متر بحوالى نصف مليون كويكب ، ومع هذا يقل مجموع كتلها عن ٠,٠٠١ من كتلة الأرض ، وأكبر الكويكبات « سيريس » يصل قطره لحوالى ١٠٠٠ كم ، لذا لا يمكن رصدها بالعين المجردة .

وقد كان يعتقد أن الكويكبات نتاج تحطم أحد الكواكب ، إلا أن المعتقد حاليًا أنها نشأت مع المجموعة الشمسية وأنها كانت أقل عددًا وأكبر حجمًا ثم تحطمت بالتصادمات فيما بينها لتزداد عددًا وتقل حجمًا .



وتوزيع الكــويكبات داخل حــزامها غــير منتــظم ويبدو أنهــا تتفــادى بعض المناطق المــسماة « بفجوات كيــركوود » وأشهر تلك الفجــوات فى مدارات تقدر الدورة فيها إلى دورة المشترى بالنسبة ١ : ٣ ، ٢ : ٥ ، ٣ : ٧ ، أو ١ : ٢ .

وأشهر مجمــوعات الكويكبات تتبع مدارات نسب دوراتهــا لدورة المشترى ١ : ١ (الطروادية Trojans) و ٢ : ٣ (مجموعة هيلدا) .

والمجموعة الطروادية تشغل مناطق تصنع اتجاهًا من الشمس زاوية °٦٠ قبل اتجاه المشترى وبعده ، وهذه الأماكن تمثل حلــين لمسألة الأجسام الثلاثة المقيدة إذا وضع فى أيهما جسم عديم الكتلة ، فإنه يبــقى ساكنًا بالنسبة لكل من الشمس والمشترى ، لكن الكويكبات تتذبذب حول هذين الموقعين .

٥-١٢ الغبار ما بين الكواكب :

يمكن تــبين وجود أتربــة بين الكواكب من رصــد الضوء البــروجى والوهج المضاء (الجيجنشاين) وكلاهما نتــاج انعكاس ضوء الشمس وتشتته على مادة ما بين الكواكب. الضوء البروجى عبارة عن ضوء خافت يرى حول دائرة البروج فوق الشمس المشرقة أو الغــاربة . أما الجيجنشاين (Gegenschein) فضوء خافت جدًا مــتشتت يرى فى عــكس اتجاه الشــمس . والجسيــمات الأولية التــى ترتطم بالأرض تأتــى من الشمــس ومن خارج المــجمــوعة الشــمسيــة ، فالجــسيــمات

المشحونة وبالذات البروتونات والإلكترونات وجسيمات ألفا (أنوية الهليوم) تنساب من الشمس بصفة مستمرة وهى ما تكون الرياح الشمسية . وسرعة هذه الرياح الشمسية بالقرب من الأرض ٣٠٠ - ٥٠٠ كم / ث وهذه الجسيمات تتفاعل مع المجال المغناطيسى لكل من الأرض والشمس ، حيث تصل شدة الأخير قرب الأرض لجزء من الألف من شدة مجالها . أما الجسيمات الآتية من خارج المجموعة الشمسية فتسمى الأشعة الكونية ، وهى بالإضافة لهذه الجسيمات الخفيفة تحتوى بعض الأنوية ، وربما تكون بعض هذه الجسيمات قد نشأت من انفجارات السوبرنوفا ، بينما بعضها الآخر رياح نجمية .

٥-١٣ ماذا عن الكوكب X :

كما ذكرنا فى الجزء الخاص بكوكب بلوتو كان الكشف عنه وعن نبتون نتيجة حسابات دقيقة أجريت لتفسير الاختلاف بين نتائج رصد يورانوس ومواقعه المقدرة بالحساب ، إلا أن اكتشاف بلوتو بل وقمره شارون لم يكن كافيًا لإزالة الاختلافات الحادثة ، وقد أدى تحليل الاختلافات بين مواقع كل من نبتون ويورانوس لتوقع وجود كوكب آخر يسمى حاليًا كوكب X ، ويجرى حاليًا بحث مكثف عن هذا الكوكب .

وهناك إضافة لكوكب X (أو بدلاً منه) احتمال آخر مثير وهو وجود نجم رفيق للشمس أسود لا تزيد كتلته عن ٠١, من كتلتها أطلق عليه اسم « نمسيس » (الآلهة الإغريقية لدار الفناء) ونمسيس هذا (إن وجد) يتحرك حول الشمس فى قطع ناقص شديد الاستطالة وأقل مسافة له من الشمس ٢٥٠ ضعف بعد بلوتو ، بينما تصل أكبر مسافة إلى ٤٥٠٠ مثل هذا البعد ، وهو بهذا يمر خلال سحابة أورت مرة كل ٣٠ مليون سنة .

ومن الواضح أن الكشف عن كوكب X أسهل كثيرًا من الكشف عن نمسيس .

٥-١٤ نشأة المجموعة الشمسية :

توجد فروض عديدة لتفسير نشأة المجموعة الشمسية ، ومع هذا لم ترق أى منها لتمثل القول الفصل فى هذا المجال . لذا سنستعرض فى هذه الفقرة نبذة مختصرة عن أكثر تلك الفروض قبولا .

نشأت الشمس فى حشد من النجوم محاط بسحابة هائلة من غاز كان بعضه

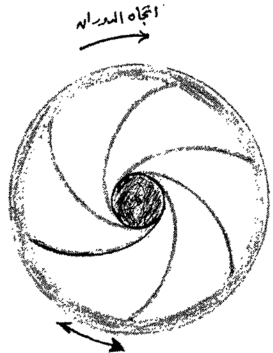
قد تكثف مكونًا لهذا الحشد ، وحدث أن انفجر أحد نجوم الحشد انفجارًا شديدًا فاختلطت مادته بكميات الهيدروجين الكبيرة التى كانت تتكون منها السحابة والتى كانت ما تزال تتكاثف مكونة للشمس . ونتيجة لهذا التكاثف وكما يحدث لجميع سحب الغاز بدأت السحابة فى الدوران وأخذت درجة حرارتها فى الارتفاع وما كادت عملية التكاثف تقترب من نهايتها حتى كانت سرعة الدوران قد زادت لدرجة أدت إلى تفلطح القطبين ثم نمو قرص خارج خط الاستواء .

وبدأ القرص فى الانفصال عن الشمس سالبًا منها جزءا كبيرًا من عزم كمية الحركة الدورانية فأبطأت فى دورانها حتى وصل لمعدله الحالى (٢ كم / ث عند خط الاستواء) بينما ابتعد القرص تدريجيا . هذا القرص هو الذى تكشفت منه السيارات فيما بعد ، وهنا تواجهنا صعوبات ثلاث :

أولاها : لو أن مادة جميع السيارات قد جمعت وخلطت بمادة الشمس لكانت سرعة دورانها عند خط الاستواء ١٠٠ كم / ث بدلاً من سرعتها الحالية، وهذه السرعة غير كافية لتكوين القرص المشار إليه . ولكن تتلاشى هذه الصعوبة أو تكاد إذا أخذنا فى الاعتبار أن جزءًا كبيرًا من مادة السحابة لا يوجد الآن حول الشمس بل أفلت تمامًا من جذبها وانضم مرة أخرى إلى فضاء ما بين النجوم ، ويؤيد هذا التفسير ندرة الهيدروجين فى يورانوس ونبتون ، بينما يوجد فى المشترى وزحل اللذين يليانهما تجاه الشمس بنفس النسبة تقريبًا التى يوجد بها فى الشمس .

أما الصعوبة الثانية : فتتعلق باستمرار انتقال الحركة الدورانية من الشمس إلى القرص بعد أن تباعد عنها شكل (٢٤) .

ويمكن التغلب على هذه الصعوبة بفرض أن خطوط قوى مجال الشمس المغناطيسى عملت كقضبان مرنة تصل الشمس بالقرص المنفصل عنها فتزيد من سرعته الدورانية فتدفعه بعيدًا عن الشمس ،



شكل (٢٤) انتقال الحركة الدورانية من الشمس إلى القرص الذى تكونت منه الكواكب

شكل (٢٥) نشوء المجموعة الشمسية

(a) تبدأ سحابة غازية كتلتها ٣ - ٤ كتلة شمسية في الدوران ثم التكثف .

(b) تكثف الجزء الداخلي بسرعة كبيرة مكونًا للشمس الوليدة مع تكون قرص من الغاز والغبار حولها .

(c) تصادمت دقائق الغبار مع بعضها وتجمعت في حبيبات أكبر فتساقط سريعًا تجاه مستوى واحد .

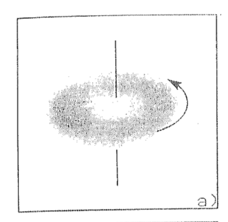
(d) تجمعت الحبيبات سويا مكونة لأحجار ضخمة تماثل حجم الكويكبات الحالية .

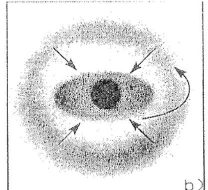
(e) توحدت هذه الكتل مكونة أجساما في حجم الكواكب .

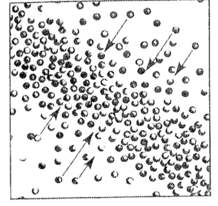
(f) بدأت تلك الكواكب الوليدة في تجميع ما يحيط بها من غاز وغبار من مادة السحابة .

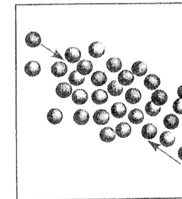
(g) تولت الرياح الشمسية الشديدة دفع الغبار والغاز الزائد بعيدا .

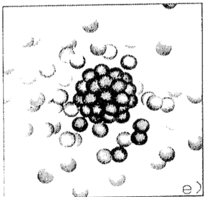
وبذلك اكتمل تكون الكواكب .

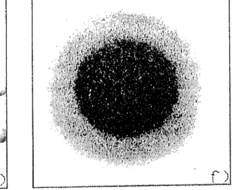


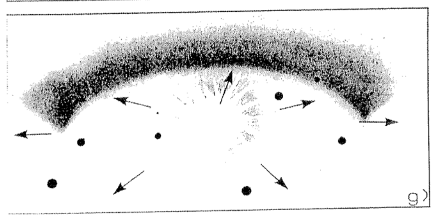












بينما تـؤدى إلى إبطاء حركة الشمس وذلـك لالتواء هذه الخطوط كنتـيجة لدوران القرص بسرعة أقل من سرعة الشمس .

وثالثة المصاعب : تتعلق بتـركيب السيارات الأربع الداخليـة والتى تتكون غالبيتها من الصخور والحديد بنسب تزيد كثيرًا عن نسبها فى السيارات الخارجية . وتفسير ذلك قد يكون فى أن قوة دفع الازدواج المـغناطيسى بين الشمس والقرص للمواد الغازية أكبـر كثيرًا منها لأى مواد صلبة أو سائلة تتكثـف بأقطار تبلغ بضعة أمتار أو أكثر .

٥ - ١٥ المجموعات الشمسية الأخرى :

تشير النظريات الحديثة لعلم الأصول إلى أن وجود مجموعات كوكبية حول النجوم أمـر عادى ، لكن يصـعب رصدها لخفـوتها نسبـة لدرجة لمعـان النجوم المصاحـبة لها . وكما توجد كـواكب فى مدارات حول النجوم المـفردة ، يمكن كذلك وجودها حول النجوم المزدوجة فى مدارات شديدة القرب من أحد النجمين أو بعيدًا عن كليهما .

وفى مجرتنا يحـتمل وجود ما بين ١٠^٩ - ١٠^١٠ من النجوم المـصحوبة بمجموعات كوكبية وقد اكتشفت مجموعات كوكبية أولية ، حيث اكتشفت أقراص من مادة قليلة الكثافة حول بعض النجوم الـيافعة ، لكن لا يمكن التيقن من نشوء كواكب داخل هذا الأقراص .

والخلاصة أن احتمال وجود مجموعات شمسية فى أنحاء أخرى من الكون احتمال قائم ، إلا أننا لا يمكن أن نتأكد إلا من وجود مجموعتنا وليس غيرها .

خصائص مدارات الكواكب :

الكوكب	نصف القطر		الدورة النجمية		الدورة الاقترانية	متوسط السرعة المدارية	الاختلاف المركزى	الميل على الدائرة الكسوفية
	وحدة فلكية	$١٠^{٦}$ كم	سنة	يوم	(يوم)	(كم/ ث)		(درجة)
عطارد	٠,٣٨٧٠٩٩	٥٧,,٩	٠,٢٤٠٨٥	٨٧,٩٦٩	١١٥,٨٨	٤٧,٨٩	٠,٢٠٥٦	٧,٠٠
الزهرة	٠,٧٢٣٣٣٢	١٠٨,٢	٠,٦١٥٢١	٢٤٤,٧٠١	٥٨٣,٩٢	٣٥,٠٣	٠,٠٠٦٨	٣,٣٩
الأرض	١,٠٠٠٠٠٠٠	١٤٩,٦	١,٠٠٠٠٤	٣٦٥,٢٥٦	—	٢٢٩,٧٩	٠,٠١٦٧	—
المريخ	١,٥٢٣٦٨٨	٢٢٧,٩	١,٨٨٠٨٩	٦٨٦,٩٨٠	٧٧٩,٩٤	٢٤,١٣	٠,٠٩٣٤	١,٨٥
المشترى	٥,٢٠٢٥٦١	٧٧٨,٣	١١,٨٦٢٣	٤٣٣٢,٧١	٣٩٨,٨٨	١٣,٠٦	٠,٠٤٨٥	١,٣٠
زحل	٩,٥٥٤٧٤٧	١٤٢٩,٤	٢٩,٥٤٨	١٠٧٥٩,٥	٣٧٨,٠٩	٩,٦٤	٠,٠٥٥٦	٢,٤٩
يورانوس	١٩,٢١٨١٤	٢٨٧٥,٠	٨٤,٠١	٣٠٦٨٥	٣٦٩,٦٦	٦,٨١	٠,٠٤٧٢	٠,٧٧
نبتون	٣٠,١٠٩٥٧	٤٥٠٤,٣	١٦٤,٧٩	٦٠١٩٠	٣٦٧,٤٩	٥,٤٣	٠,٠٠٨٦	١,٧٧
بلوتو	٣٩,٤٤	٥٩٠٠,١	٢٤٨,٥	٩٠٨٠٠	٣٦٦,٧٣	٤,٧٤	٠,٢٥٠	١٧,٢

خصائص الكواكب ومداراتها

خصائص الكواكب الأرضية (وقمر الأرض)	عطارد	الزهرة	الأرض	القمر	المريخ
معكوس الكتلة (الشمس= ١)[1]	٦٠٢٣٦٠٠	٤٠٨٥٢٤	٣٢٨٩٠٠	٢٧٠٦٩٠٠٠	٣٠٩٨٧١٠
الكتلة (الأرض = ١)[2]	٠,٠٥٥٨	٠,٨١٥٠	١,٠٠٠٠	٠,٠١٢٢٣٠	٠,١٠٧٤
الكتلة (كجم)[2]	$٣,٣٠٢ \times ١٠^{٢٣}$	$٤,٨٧١ \times ١٠^{٢٤}$	$٥,٩٧٥ \times ١٠^{٢٤}$	$٧,٣٥٠ \times ١٠^{٢٢}$	$٦,٤٢١ \times ١٠^{٢٣}$
نصف القطر الاستوائى (الأرض = ١)	٠,٣٨٢	٠,٩٤٩	١,٠٠٠	٠,٢٧٢٥	٠,٥٣٢
نصف القطر الاستوائى (كم)	٢٤٣٩	٦٠٥٢	٦٣٧٨,١٦٥	١٧٣٨	٣٣٩٨
التفلطح[3]	صفر	صفر	٠,٠٠٣٤	٠,٠٠٢	٠,٠٠٥٩
الكثافة المتوسطة (جم/سم^{٣})	٥,٤٢	٥,٥٢	٥,٥٢	٣,٣٤	٣,٩٤
التثاقل السطحى الاستوائى (جم/سم^{٢})	٣,٧٨	٨,٦٠	٩,٧٨	١,٦٢	٣,٧٢
سرعة الهروب الاستوائية (كم/ث)	٤,٣	١٠,٣	١١,٢	٢٢,٣٨	٥,٠
الدورة النجمية حول محور الكوكب	٥٨,٦٥ يوم	٢٤٣,٠١يوم تراجعية	٢٣,٩٣٤٥ ساعة	٢٧,٣٢٢ يوم	٢٤,٦٢٢٩ ساعة
ميل مستوى الاستواء على مستوى المدار	صفر°	٢°	٢٣,٤٤°	٦,٦٨°	٢٣,٩٨°

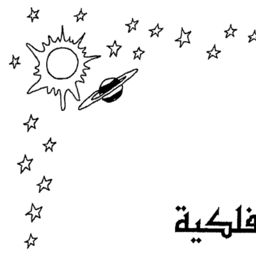
١ - كتلة الشمس مقسومة على كتلة الكوكب (متضمنة الغلاف الجوى والأقمار) .

٢ - لا تشتمل على كتلة الأقمار .

٣ - (نصف القطر الاستوائى - نصف القطر القطبى) / نصف القطر الاستوائى .

خصائص السيارات العظمى	المشترى	زحل	يورانوس	نبتون	بلوتو
معكوس الكتلة (الشمس = ١)	١٠٤٧,٣٥٥	٣٤٩٨,٥	٢٢٨٦٩	١٩,٣١٤	١٣٠٠٠٠٠٠٠
الكتلة (الأرض = ١)	٣١٧,٨٩٣	٩٥,١٤٧	١٤,٥٤	١٧,٢٣	٠,٠٠٢٢
الكتلة (كجم)^{٢}	١,٩٠٠ × $١٠^{٢٧}$	٥,٦٨٨ × $١٠^{٢٦}$	٨,٧٠ × $١٠^{٢٥}$	١,٠٣٠ × $١٠^{٢٦}$	١,٣١ × $١٠^{٢٢}$
نصف القطر الاستوائى (الأرض = ١)	١١,٢٧	٩,٤٤	٤,١٠	٣,٨٨	(٠,٢٤)
نصف القطر الاستوائى (كم)	٧١٣٩٨	٦٠٣٣٠	٢٥٤٠٠	٢٤٣٠٠	(١٥٠٠)
التفلطح	٠,٠٦٣٧	٠,١٠٢	(٠,٠٢٤)	,٠٢٦٦	؟
الكثافة المتوسطة (جم / سم^{٣})	١,٣١٤	,٦٩	(١,١٩)	١,٦٦	(,٩)
التثاقل السطحى الاستوائى (جم / سم^{٢})	٢٢,٨٨	٩,٠٥	٧,٧٧	١١,٠٠	(,٤)
سرعة الهروب الاستوائية (كم / ث)	٥٩,٥	٣٥,٦	٢١,٢٢	٢٣,٦	(١,١)
الدورة النجمية حول محور الكوكب عند خط الاستواء	٩,٨٤١ ساعة	١٠,٢٣٣ ساعة	٢٣,٩٣٤٥ ساعة	٢٧,٣٢٢ يوم	٦,٣٨٧٤ ساعة
ميل مستوى الاستواء على مستوى المدار	٣,٠٨°	٢٩°	٢٣,٤٤°	٢٨,٨°	≥٥٠°

القيم ما بين الأقواس يتعدى الخطأ فيها ١٠ ٪ .



الفصل السادس

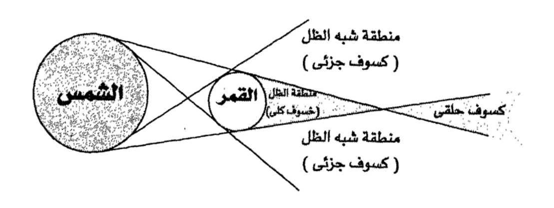
ظواهر فلكية

في هذا الفصل نستعرض بعض أهم الظواهر الفلكية مثل الخسوف والكسوف والمد والجزر وغيرها من الظواهر الأقل شيوعًا .

٦-١ الكسوف والخسوف :

تحدث ظاهرة الخسوف (أو الكسوف) إذا وقع جسم فى منطقة ظل أو شبه ظل جسم آخر . فإذا حجب ظل القمر الشمس عن الأرض حجبا كاملا أو جزئيا يحدث كسوف كلى أو جزئى للشمس ، أما إذا حجبت الأرض ضوء الشمس عن القمر كليا أو جزئيا يحدث خسوف كلى أو جزئى للقمر .

٦-١-١ كسوف الشمس :



شكل (١) الظروف الهندسية لكسوف الشمس

يتراوح بعد القمر عن الأرض ما بين ٣٦٠ و ٤٠٥ ألف كم ، بينما يبلغ طول مخروط الظل الناتج عنه حوالى ٣٨٣ ألف كيلو متر ، وبذلك يمكن أن يصل إلى سطح الأرض . ومن الشكل يتضح أن الكسوف يحدث فقط عندما يقع القمر مباشرة بين الأرض والشمس ، أى قرب ميلاد الهلال الجديد ، لكن

الكسوف لا يحدث كل شهر لأن الاقتران فى أول الشهر لا يعنى وقوع القمر على خط واحد مع الأرض والشمس ، فمدار القمر يميل على دائرة البروج بحوالى ٥ درجات ، وبذلك لا يقع القمر فى مستوى البروج إلا عندما يمر بعقدتى المدار . وبذلك لا يحدث الكسوف إلا إذا تحقق الشرطان الآتيان :

(i) يكون القمر عند مولد الهلال الجديد قريبا من إحدى هاتين العقدتين .
(ii) يكون بعده عن الأرض مناسبا لوقوع ظله عليها (أقرب من ٣٨٣ ألف كم) .

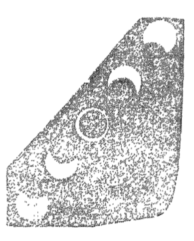
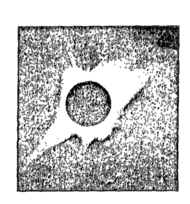
وجدير بالذكر أن تعقيدات حركة القمر لها دور كبير فى حدوث أو عدم حدوث الكسوف ، ومن أبرز العوامل المؤثرة فى هذا الصدد أن العقدتين تتحركان على دائرة البروج حركة تراجعية (أى تجاه الغرب) بحيث تكملان دورة كل ١٨,٦ سنة تقريبا .

ظروف الكسوف :

يتحرك ظل القمر على الأرض بسرعة كبيرة تصل إلى حوالى ١٧٣٠ كم/ ساعة عند خط الاستواء وتزداد فى العروض العالية ، وهذا يتسبب فى قصر فترة الكسوف حتى أن الكسوف الكلى لا يستمر أبدا لأكثر من ٧,٥ دقيقة . وعلى جانبى منطقة الكسوف الكلى يمتد الكسوف الجزئى لحوالى ٣٠٠٠ كم ، بينما لا يتعدى عرض مسار الكسوف الكلى كثيرا حوالى ٢٦٩ كم ، وهذا هو أقصى عرض له عندما يقع عموديا على خط الاستواء . أما فى العروض الأخرى فإنه يزداد قليلا .

ويتضح من شكل (١) أن الكسوف إذا كان كليا فلابد أن يسبقه ويعقبه كسوف جزئى (شكل ٢) .

وإذا كان القمر بعيدا بعض الشىء عن الأرض بحيث يكون جزء من الأرض داخل المنطقة A ، شاهد سكان هذا الجزء كسوفا حلقيا للشمس فيختفى جزء من قرصها خلف القمر فلا يبدو غير حلقة خارجية مضيئة تحيط بالقرص المظلم (شكل ٢) . وحيث إن قطر مخروط ظل القمر أقل من قطر القمر (٣٤٧٦ كم) بينما قطر الأرض ١٢٦٥٦ كم ، يحدث الكسوف الكلى أو الحلقى فى منطقة صغيرة تتحرك على سطح الأرض مع حركة القمر بالنسبة لها بسرعة أكبر من ٣٤ كم / دقيقة .

(ب) (أ)

شكل (٢) (أ) كسوف كلى للشمس وتلاحظ الكورونا (الإكليل الشمسى) حول قرص الشمس الذى حجبه القمر .
(ب) كسوف جزئى ويلاحظ بدءه وانتهاءه بكسوف جزئى .

وفى أثناء فترة الكسوف الكلى يمكن أن تشاهد النجوم فى السماء كما تظهر المنطقة الخارجية من جو الشمس والمسماة بالإكليل الشمسى . ومن الطريف أن بعض أنواع الزهور تغمض قبل بدء الكسوف مباشرة كما تبدى بعض الطيور سلوكاً غير معتاد .

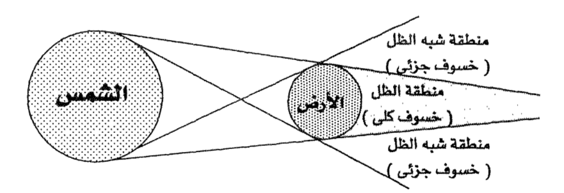
ومن الجدير بالذكر التحذير من النظر للشمس أثناء الكسوف إلا من خلال زجاج شديد الإعتام ، وإلا تعرضت شبكية العين لأخطار محدقة .

٦ - ١ - ٢ خسوف القمر:

يحدث خسوف القمر عندما يدخل فى منطقة ظل الأرض ، ويتضح من شكل (٢) أن هذا يحدث عندما تقع الأرض بين القمر وبين الشمس ، أى عندما يكون القمر بدرا .

وظل الأرض يمتد لحوالى ١,٣٨ مليون كم ؛ ولذلك لا يمكن حدوث خسوف حلقى للقمر ، وبذلك فخسوف القمر إما جزئى أو كلى . وعند مدار القمر يصل قطر مخروط ظل الأرض لحوالى ٩٢٠٠ كم ، ولذا يسهل كثيرا دخول القمر فى هذا المخروط مما يجعل معدل حدوث الخسوف القمرى أكثر

بصورة ملحوظة من معدل حدوث كسوف الشمس ، ويصل مخروط شبه ظل الأرض لحوالى ١٦٠٠٠ كم .



شكـــل (٣) الظروف الهندسية لخسوف القمر



شكـــل (٤) خسوف كلى للقمر يقع فيه القمر عند مركز الظل

وقبل أن تبدأ حافة القمر دخول منطقة الظل بحوالى ٢٠ دقيقة يبدأ ضوؤه فى الخفوت بدرجة ملحوظة. وخسوف القمر (الجزئى ثم الكلى ثم الجزئى) يمكن أن يستمر حوالى ٦ ساعات، لكن لا تتعدى فترة الخسوف الكلى ١ س ، ٤٠ ق .

ولا يمكن رؤيــة الخسوف الجـزئى بالعيــن المجردة أمــا خلال الخســوف الكلى فيكتسى القمر بلون أحمر داكن بسبب انكسار بعض الضوء الأحمر فى جو الأرض (شكل ٤) .

ولو كان مستوى مدار القمر ينطبق على المستوى الكسوفى لحدث كل شهر كسوف شمسى وخسوف قمرى لكن لميل هذا المدار يجب أن يقل بعد القمر عن العـقدة عن ٤,٦° كى يـحدث خســوف كلى للقــمر ، وأن يقــل عن ١٠,٣° كى يحدث كسوف كلى للشمس .

وأكبـر عدد لمـرات حدوث الخسـوف والكسـوف لا يتعدى ٧ مـرات فى السنة، أمــا أقل عدد فهو خـسوفان ، وفى هذه الحــالة يكونان قمـريين . وعادة يحدث الخسوف والكسوف فى مجموعة من ١ - ٣ يفصل بينها فترة ١٧٣ يوما ، ويكون ترتيــب المجموعــة إما : كسوف شمــسى واحد ، أو كسوف شــمسى ثم خسوف قمرى ثم كسوف شمسى آخـر . وفى خلال العام تتكرر ظاهرة الخسوف والكسوف بما يعادل مجموعتين أو ثلاث من هذه المجموعات .

ويلزم لحساب معدل تكرار الخسوف والكسوف بنفس الترتيب حساب معدل حركة الشمس بالنسبة لعقدة مدار القمر على المستوى الكسوفى :

تتحرك عقدة المدار غربا لتكمل دورة كل ١٨,٦ سنة = p

السنة النجمية ٣٦٥,٢٥٦٤ يوم = y

ولو كانت دورة الشمس بالنسبة للعقدة = T فإن :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{p} + \frac{1}{y}$$

ومنها T = ٣٤٦,٦٢ يوما .

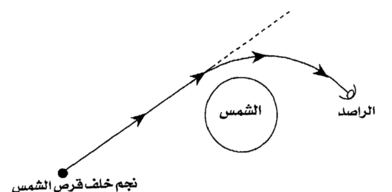
ويمكن بسهولة التحقق من أن :

١٩ T ≈ ٢٢٣ شهر اقترانى (٢٩,٥٣ يوم) .

ومعنى هذا أن وضع الشمس بالنسبة للقمر يتكرر تماما بعد مرور هذه الفترة أو مضاعفاتها ، وبالتالى يتكرر الخسوف والكسوف بنفس الترتيب . وتسمى هذه الدورة « ساروس Saros » .

ويستفــاد من رصد ظواهر الكسوف والخـسوف فى أمور كثيـرة كان أبرزها التحقق من صحة ما ذهبت إليه نظرية النســبية العامة لأينشتين من أن أشعة الضوء

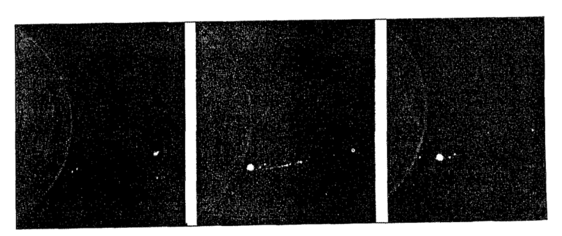
تنثنى بتأثير مجالات التثاقل القوية . فقد أمكن خلال الكسوف الكلى للشمس رصد نجوم المفروض أنها تختفى خلف قرص الشمس (شكل ٥) .



شكـــل (٥) ظهور النجوم الواقعة خلف الشمس أثناء الكسوف الكلى

٦-٢ الإستتار والعبور :

يحدث الاستتار عندما يمر جسم أمام آخر فيحجبه خلفه . وأشهر أمثلته اختفاء كوكب أو نجم خلف القمر (شكل ٦) ، وقد كانت أرصاد استتار النجوم خلف القمر تستخدم فى دراسة مدار القمر ، كما استفاد منها المتخصصون فى الفلك الراديوى لتحديد موقع المصادر الراديوية بدقة . وفى الوقت الحالى تستخدم تلك الأرصاد لدراسة دوران الأرض ، وأقطار النجوم والبحث عن النجوم المزدوجة .



شكل (٦) مجموعة صور توضح (من الشمال إلى اليمين)
خروج المشترى وثلاثة من أقماره بعد استتارهم خلف القمر

وحيث إن القمر يتحرك شرقًا ، وخلال التربيع الأول يقع الجزء المضيء منه تجاه الغرب ، فإن النجوم خلال تلك الفترة تستتر خلف حافة القمر المظلمة. لذا يسهل رصد الاستتار خلال تلك الفترة بينما يصعب رصد ظهور الجرم فور خروجه من خلف القمر.

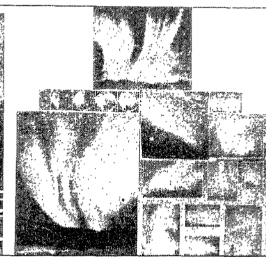
وتحدث عملية الاستتار كذلك خلف الكواكب والكويكبات ، إلا أنها تكون شديدة التعقيد حيث ترى فقط فى مسار ضيق جدا .

أما العبور فهو مرور عطارد أو الزهرة عبر قرص الشمس ، ويحدث هذا عندما يكون أيهما بالقرب من عقدة مداره على المستوى الكسوفى إبان فترة الاقتران السفلى . ويحدث عبور عطارد ١٣ مرة كل قرن ، بينما يحدث عبور الزهرة مرتين فقط . وأقرب عبور لعطارد فى ١٥ نوفمبر سنة ١٩٩٩ و ٧ مايو سنة ٢٠٠٣ و ٨ نوفمبر سنة ٢٠٠٦ و ٩ مايو سنة ٢٠١٦ و ١١ نوفمبر سنة ٢٠١٩م . بينما تعبر الزهرة فى ٨ يونيو سنة ٢٠٠٤ و ٦ يونيو سنة ٢٠١٢ و ١١ ديسمبر سنة ٢١١٧م .

٦-٣ الفجر القطبى :

الفجر القطبى من أهم ظواهر الجو العلوى وهو يسمى كذلك « الأورورا » أو الوهج القطبى أو أنوار الشمال ، وهو يشاهد فى المناطق القريبة من القطبين على هيئة خيوط أو ستائر تتدلى من السماء بألوان جذابة وتشكيلات مختلفة (شكل ٧) .

وتشاهد الظاهرة على ارتفاعات تمتد من نحو ١٠٠ كيلو متر إلى ١٠٠٠ كيلو متر فوق سطح الأرض ، حيث ترى بكثرة فى المناطق ذات العروض الأعلى من ٤٥ْ خصوصا في أواخر الخريف وأوائل الربيع . ويستطيع سكان المناطق القريبة من عرض ٤٥ْ أن يروا الوهج القطبى نحو خمس عشرة مرة خلال العام ثم يقل معدل رؤيتها حتى تكاد تنعدم عند خط عرض ٣٥ْ . وتسمى الظاهرة التى تحدث فى المناطق الشمالية « أورورا بورياليس » أى « فجر الشمال » ، أما تلك التى تحدث فى المناطق الجنوبية فتسمى «أورورا أوسترالس» أى «فجر الجنوب» ويشاهد الفجران معا فى آن واحد .

شكـــل (٧) صور مختلفة لما يبدو به الفجر القطبى (الأورورا)

وصور فجر الشمال متعددة لا يمكن حصرها ، وتتراوح ما بين وهج خافت فى سماء الشمال أو الجنوب ، أو كقوس عـظيم من الأنوار الخافتة تتذبذب ببطء وينبعث منها من آن لآخـر ما يشبهه الأنوار الكاشفة تمتد حـتى السمت ، كما أنه قد تبدو كما ذكرنا فـى صورة ستائر عظيمة ملفوفة تتدلى مـن السماء وتتموج مع الرياح مغيرة من أشكالها وألوانها وقد يملأ نورها كل السماء .

وتكاد أنـوار الشمـال ترى كل مسـاء من ألاسكا وكنـدا وجرينلانـد ، وقد لوحظ زيادة شدتها مع ازديـاد النشاط الشمسى ، حيث تحدث ظواهـر متميزة من الفجر القطبى بعد ٢٠ - ٣٠ ساعة من رصد بقع شمسية شديدة .

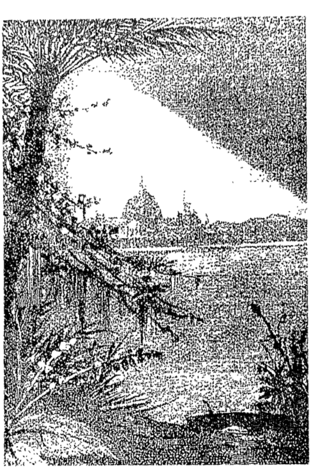
ويعزى تكون هذه الأضـواء لتفاعل الجسـيمات المشحونـة من الشمس مع مجال الأرض المغناطيسى ، فخطوط قوى هذا المجال تنحنى عند القطب لأسفل حتى تـصل قرب سطح . والكـهارب فى الرياح الشـمسية تـتبع خطوط المـجال وتنساب معها فتتجمع عند القطبين المغناطيسيين فيتسبب تصادمها مع الأيونوسفير فى انبعاث هذه الأضواء .

٦ - ٤ الضوء البروجي :

الضوء البـروجي وهج ضوء خافـت على احتواء دائرة الـبروج (أى الدائرة الكسوفية وتقع ألمع أجزائه قرب الـشمس ، وأفضل ظروف رؤيته فى الغرب بعد ساعات قليلة من غروب الشمس ، أو فى الشرق قبل شروقها . والضوء البروجى فى أفضل حالاته يماثل ضوء الطريق اللبنـى فى لمعانه . ويسمى الضوء البروجى أحيانا بـالفجر الكاذب لظهـوره فى الصباح قبل أن يـبدأ الشفق ، إلا أن التمـييز بينهما يسهل لو لاحظنا أن الضوء البروجى يرتفع لأعلى بشكل هرمى (شكل ٨) حيث تسـببه المادة ما بـين الكواكب ، بينما يـمتد الشفق الحـقيقى أكثـر التزاما بمحاذاة الأفق ، حيث ينشأ من تشتت ضوء الشمس على مكونات الغلاف الجوى للأرض ، ويرتفع فوق الأفق لدى اقتراب الشمس منه .

وطيف الـضوء البـروجى مماثل لطيف الشمس مما يشير إلى أنه ضـوء للشمس انـعكس وتشتت على مكونات المادة ما بين الكواكب . وحيث إن تلك المـادة تتركـز قرب الـمسـتوى الكسـوفى فإمـا تعكسه دقـائق تلك المادة من ضوء يكون على امتداد دائرة البروج .

وقـد وجـد أن الـجـزء الخارجى من الإكليـل الشمسى (الفـصل السابـع) والمسـمى «إكليل F » يمتـد تسع درجات من الشمس وطيفه مماثل لطيف ضوء البروج ، لذا فـإن البعض يرى أنه امـتداد لـهذا الإكليـل الخـارجى ، وأن هذا الإكلـيل الخارجى ضوء للـشمس تشتت على المادة ما بين الكواكب .

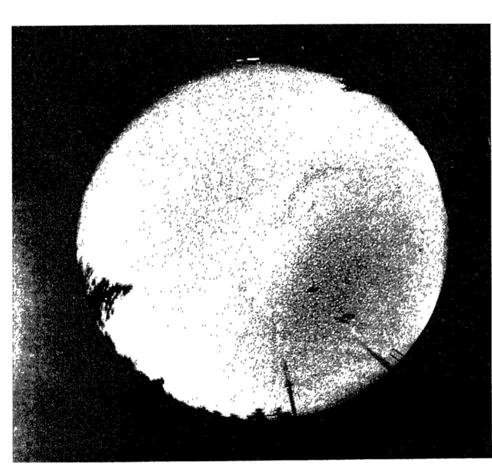


شكـــل (٨) الضوء البروجى

٦-٥ الوهج المضاد :

هو وهج ضوء خافت فى المستوى الكسوفى تماما فى عكس اتجاه الشمس، وهو يمتد ما بين ٨ إلى ١٠ درجات فى اتجاه وما بين ٥ إلى ٧ درجات فى الاتجاه العمودى ، ورصده أصعب كثيرا من رصد الضوء البروجى ، لكن يمكن قياسه بالطرق الكهروضوئية وكذلك أمكن تصويره (شكل ٩) .

إذا درسنا حركة جسم مهمل الكتلة تحت تأثير جذب كل من الشمس والأرض فإنه توجد لهذه الحركة خمس نقاط اتزان يثبت عندها أو يتذبذب حولها الجسم المتحرك . إحدى هذه النقاط تقع على الخط الفاصل بين الأرض والشمس فى عكس اتجاه الشمس تماما ، فإذا ما كان الجسم المتحرك شهابا تستوفى حركته الشروط المطلوبة فإنه يدور عدة دورات حول تلك النقطة قبل أن يتركها سابحا فى الفضاء ، ويفسر الوهج المعتاد بأن عددا كبيرا من هذه الشهب يتجمع حول تلك النقطة فينعكس ضوء الشمس عليه ويتشتت مسببا لهذا الوهج الخافت .



شكل (٩)
الوهج المضاد
(بقعة الضوء شمال وأسفل المركز) والطريق اللبنى

٦-٦ المد والجزر :

عندما يقع جسم ممتد فى مجال تثاقل خارجى ، فإنه يتعرض لما يسمى قوى المد . تنتج هذه القوى لاختلاف أبعاد أجزاء الجسم المختلفة عن مركز التثاقل الخارجى وبالتالى اختلاف القوى التى تتعرض لها أجزاء الجسم المختلفة ، وقوى المد يمكن أن تؤدى لتمزق الجسم وقد تكون الحلقات حول السيارات العظمى نتيجة لمثل هذه القوى .

وأشهر أمثلة المد هو ما يحدث لمحيطات الأرض من ارتفاع وانخفاض فى مستوى سطحها بسبب اختلاف قوى جذب كل من الشمس والقمر على أجزاء الأرض المختلفة ، وهذه الظاهرة معروفة منذ القدم إلا أنها لم تجد تفسيرا إلا باستخدام قانون التثاقل العام لنيوتن .

وقوى المد قوى تثاقل تفاضلية ؛ فمثلا يجذب أى من القمر أو الشمس جزء الأرض المواجه له بقوة تزيد عن الجذب الواقع على مركزها ، بينما يقل الجذب الواقع على الجزء البعيد عن ذلك الواقع على المركز فإذا كان r بعد القمر أو الشمس عن مركز الأرض تكون قوة التثاقل ببساطة :

$$F = \frac{GMm}{r2}$$

حيث G الثابت العام للتثاقل بينما m ، M كتلتى الأرض والقمر (أو الشمس) على الترتيب .

فإذا تغير البعد بمقدار dr تغير F بمقدار :

$$dF = -\frac{2GMm}{r3}\ dr \qquad (1)$$

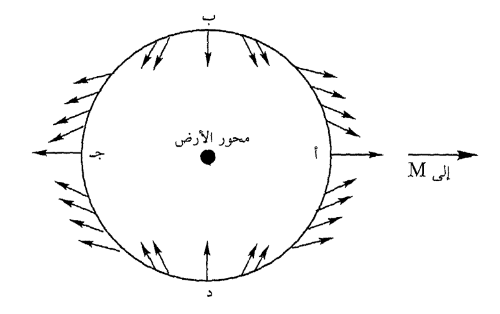
وحيث إن بعد القمر (حوالى ٤٠٠ ألف كيلو متر) يقل كثيرا عن بعد الشمس (حوالى ١٥٠ مليون كيلو متر) فإنه المسبب الرئيسى لظاهرة المد والجزر التى تحدث فى المحيطات ونظيرتها التى تحدث فى الغلاف الجوى للأرض .

وفى حالة ظواهر المد والجزر على الأرض تعرف قوة المد بأنها الفارق بين قوة التثاقل المؤثرة على سطح الأرض وتلك المؤثرة على مركزها . وبالإضافة

لهذه القوة الأساسية هناك قوى ثانوية تزيد كثيرا من تعقيد حسابات المد والجزر وهى :

- القوى الناتجة عن دوران الأرض حول محورها .
- القوى الناتجة عن دوران مجموعة الأرض والقمر حول الشمس .
- القوى الناتجة عن دوران المجموعة الشمسية .
- وجود التضاريس التى تعوق حركة المياه .
- قوى الاحتكاك .
- تأثير الرياح .

ولتصور كيف يحدث المد والجزر نستعرض قوى المد الناتجة من جسم M كما فى شكل (١٠) . بتحليل هذه القوى فى الاتجاه المماس لسطح الأرض والاتجاه العمودى عليه نجد أن المياه تنساب فى اتجاه M والاتجاه المضاد له فيرتفع سطح الماء حول أ ، جـ فيحدث فى هاتين المنطقتين ، بينما ينحسر حول ب ، د فيحدث عندهما جزر . وبذلك يتكرر المد مرتين فى نفس المنطقة يوميا، عندما تواجه القمر ، وعندما تقع فى الناحية المضادة له .



شكل (١٠) قوى المد على سطح الأرض وعند خط الاستواء الناتجة عن جسم بعيد M

ويمكـن إثبات أن الـفارق فى مـستـوى سطح المـاء مناطـق الجزر يـعطى بالعلاقة :

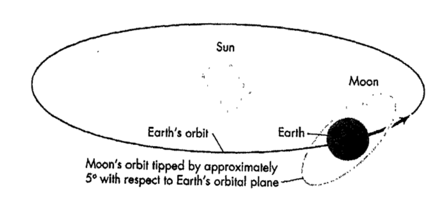
$$\Delta h = \frac{3}{2} \frac{M}{M_e} \frac{R_e^4}{r^3} \cos^2 \Phi \qquad (2)$$

حيث M كتلة الجسم الـمحدث للمد ، Me كتلة الأرض بـينما R_e و r نصف قطر الأرض وبعـد مركزها عن M و Φ عرض المكـان ، ويوضح شكل (١١) توزيع الـمياه علـى سطح الأرض ووقت حـدوث المد والجـزر إذا كان M واقعا فـى مستوى خط الاسـتواء ، بينما يوضـح شكل (١٢) توزيع الميـاه عندما يكون M خارج خط الاستواء ، فى الحالة الأولى يكـون انبعاج شكل المحيطات نتيجة للمد على شكل قطع ناقص دورانى محوره الأكبر تجاه M ، أما فى الحالة الثانية فإن هذا المحور يميل على خط الاستواء بمقدار ميل M عليه ، ويؤدى هذا كما يتضح من شكل (١٢) أن المد فى المنطقة التى تواجه M يكون أعلى منه فى تلك المضـادة لاتجاه M وبذلك يخـتلف ارتفاع المـدّين اللذين يحـدثان خلال اليوم.

وبرغم كبر كتلة الشمس بالنسبة لكتلة القمر إلا أن بعدها الكبير عن الأرض مقارنا ببعد القـمر يجعل تأثير القمر حوالى ٢,٢ ضعف تـأثير الشمس ، ويتضح من المعادلة (١) أن أعلى مد يكون عند خط الاستواء ($\Phi = 0$) وقدره :

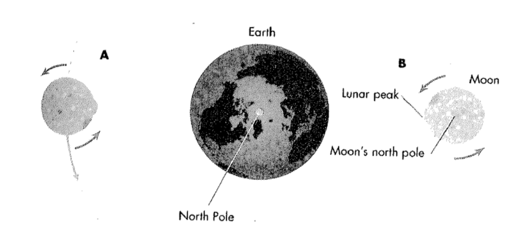
$$\Delta h_c = \frac{3}{2} \left(\frac{1}{81.5}\right) \left(\frac{6378}{384000}\right)^3 (6378 \times 10^3) = 0.54 \text{ m}$$

$$\Delta h_{\odot} = 0.24 \text{ m}$$



شكـــل (١١) المد والجزر (M فى مستوى الاستواء)

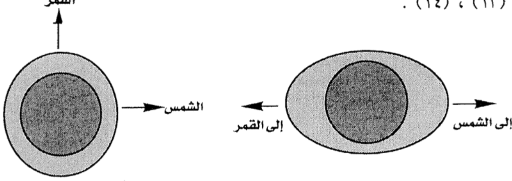




شكـــــل (١٢) المد والجزر (M خارج مستوى الاستواء)

ويعتمد ارتفاع المـد الناتج من مدى الشمس والقمر على وضعـهما بالنسبة للأرض فيكتسب أعلى قيمة عندما يقع كل من الشمس والقمر والأرض على خط واحد (أو على خط قطر واحد تقريبا بسـبب ميل القمر على دائرة الكسوف) أى عند مولد الهلال ، وعندمـا يكون القمر بدرا حيث يكون المد المـحصل مجموع المد الناتـج عن القمر وذلك الناتج عن الـشمس ، ويسمى فى هذه الحـالة المد الكامل (Spring tide) .

أما فى التربيعـين الأول والثانى فيكون المد المحـصل هو الفارق بين مدى القمر والشمس ويسمى مدا منخفضا (Neap tide) . ويتضح هـذا من شكلى (١٣) ، (١٤) .

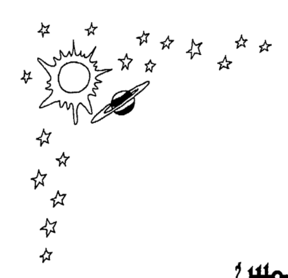


شكل (١٤) المد المنخفض

شكـــــل (١٣) المد الكامل

وحيث إن القمر يمر فى المتوسط فوق أى نقطة على سطح الأرض كل ٢٤ ساعة و ٥٥ دقيقة فإن المد العالى يحدث كل ١٢ ساعة و ٢٧,٥ دقيقة ويتأخر كل يوم عن اليوم السابق بمقدار حوالى ٥٥ دقيقة ويتراوح مدى ارتفاع المد من منطقة لأخرى على سطح الأرض بدرجة كبيرة . وجدير بالذكر أن الأرض ليست تامة الصلابة ، ولذا فإنها تستجيب لقوى المد بقيمة أقصاها حوالى ٩ بوصات .

وتتسبب قوى الاحتكاك بين الماء وقاع المحيط أثناء المد والجزر فى فقد الأرض للطاقة بمعدل حوالى ٢٠٠ مليون حصان ؛ وهذا يتسبب فى إبطاء دورانها حول محورها بمعدل ٤,٤ × ١٠$^{-٨}$ ثانية فى كل دورة أى حوالى ٢٨ ثانية كل قرن وقد تأيد هذا بالأرصاد . وحيث إن عزم الحركة الدورانية لمجموعة الأرض والقمر لا يتغير ، يؤدى هذا النقص كمية الحركة الزاوية للأرض فى زيادة كمية حركة دوران القمر فى مولده بنفس القدر فينتج عنه زيادة متوسط بعد القمر عن الأرض ويقدر هذا بحوالى ١ سم فى كل دورة للقمر حول الأرض .



الفصل السابع

الشمس

الشمس أقرب النجوم إلينا ، وإضافة لكونها دعامة الحياة على الأرض فهى هامة بقدر كـبير للفلك حيث تيسـر دراسة ما لا يمكن دراسته بصـورة مباشرة فى النجـوم البعيـدة . ومعلومـاتنا الحـالية عن الشـمس مبنـية على الأرصـاد وعلى الدراسات النظرية .

٧-١ التركيب الداخلى :

الشمس نموذج من نجوم التتابـع الرئيسى (انظر الفصل الرابع) ، ويمكن إيجاز خصائصها الأساسية فى الآتى :

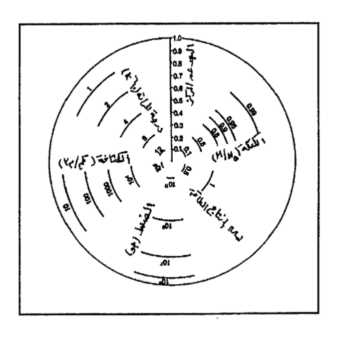
الكتل	$m = 1.989\times10^{30}$ kg = 330000 (كتلة أرضية)
نصف القطر	$R = 6.960\times10^{8}$ m
الكثافة المتوسطة	$P = 1409\ kg / m^3$
الكثافة المركزية	$P_c = 1.6\times10\ kg^5 / m^3$
النورانية	$L = 3.9\times10^{26}$ w
درجة الحرارة الفعالة	$T_e = 5785$ k
درجة الحرارة المركزية	$T_c = 1.5\times10^{7}$ k
القدر البولومترى المطلق	$M_{bol} = 4.72$
القدر البصرى المطلق	$M_v = 4.79$
الصنف الطيفى	G 2 V
المعاملات اللونية	B - V = 0.62 , u - B = 0.10
طول الدورة عند خط الاستواء	25 day
عند عرض ٦٠°	29 day

وتنتج الشمس طاقـتها بتفاعلات نووية اندماجـية فى منطقة صغيرة تحـيط بمركزها حيث تـنتج ٩٩ ٪ من طاقتـها فى كرة قطرهـا ربع قطر الشمس . وشـكل (١) يوضح توزيع الخصائص الفيزيائية المختلفة داخل الشمس .

وتنتج الشمس الطاقة بمعدل ٤ × ١٠^{٢٦} وات وهو ما يعادل تحويل حوالى ٤ مليون طن من كتلتها إلى طاقة كل ثانيـة ، ومع هذا لم يستنفد من كتلتها طوال عمرها على التتابع الرئيسى غير ١, ٪ .

وعندمـا تكونت الـشمس مـنذ حوالى ٥٠٠٠ مـليون سنـة كان تركـيبـها الكيميائى بصـورة عامة مماثلا لتركيب سطحها الحـالى . وحيث إن إنتاج الطاقة يتركز قريبا جدا من مركزها يستنفد الـهيدروجين هناك بأسرع معدل ، بينما تماثل وفرته عند ربع البعـد عن المركز وفرته على السطح . وفى اللـب المركزى يمثل الهيدروجين حوالى ٤٠ ٪ فقط من تركيبه . وقد تحول حوالى ٥ ٪ من هيدروجين الشمـس إلى هيليوم ، ومـن المعروف أن أول اكـتشاف للهـيليوم كـان فى طيف الشمس فى أواخر القرن الماضى .

والجزء المشع المركزى فى الشـمس يمتـد حتى حـوالى ٧٠٪ من نصف قطرها ، عند هذا البعد تهبط درجة الحرارة لدرجـة لا تتـيح للغـازات أن تظل فـى حالة تأين كـامل . وعندمـا تزداد عتامة الـشمس بشدة فـتمنع تقدم الإشـعاع ، وبالتالى يصبـح الحمل عاملا أكثر فـعالية لانتقـال الطاقة . ولذلك فللشمس وشاح تنتقل فيه الطاقة بالحمل .



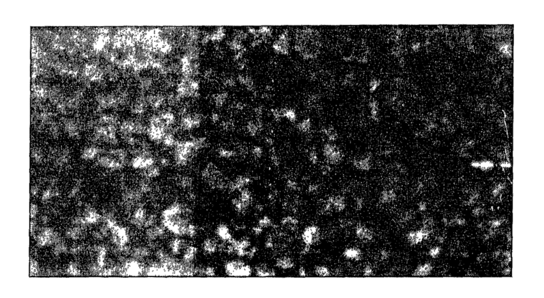
شكـــل (١) توزيع درجات الحرارة والضغط ومعدل إنتاج الطاقة والكتلة والكثافة كدالة فى البعد عن المركز داخل الشمس

٧-٢ جو الشمس :

يتكون جو الشمس من الـفوتوسفير والكروموسفير ، وخـارج الجو الفعلى تمتد الكورونا (الإكليل الشمسى) للخارج كثيرا .

الفوتوسفير : (الطبقة المضيئة)

هو الطبقة الداخلية من جو الشمس ولا يتعدى سمكه حوالى ٣٠٠ – ٥٠٠ كم . والفوتوسفيـر هو سطح الشمس المرئى حيث تزداد الكثافـة سريعا للداخل فتحجـب باطن الشمس عن الرؤية . ودرجة حـرارة السطح الداخلى للفوتـوسفير ٨٠٠٠ درجة مطلقة ، أمـا عند سطحها الخارجى فـدرجة الحرارة ٤٥٠٠ k° . وإذا نظرنا تجاه حـافة الشمس فإننا نرى فـقط الطبقات الخارجيـة الأكثر برودة ، والذى تبـدو الحافة أقل فـى الإضاءة ، وهو ما يطلـق عليه « إظلام الحـافة » ، ويتكون فى الفوتوسفير كل من الطيف المستمر وطيف الامتصاص الخطى .



شكـــل (٢) الفوتوسفير والتحببات فى سطح الشمس ، وهى تنتج من الغاز المنساب للخارج . وقطرها السائد حوالى ١٠٠٠ كم

والحمل فى الـشمس يظهر على سطـحها فى صورة تحبـبات (شكل ٢) تتموج بـاستمرار . وفى مركـز التحببات المـضىء تصعد الغازات لأعلـى لتعود للهبوط عند الحواف المعتمة لتلك التحببات . وقطر هذه التحببات من على سطح الأرض حوالى ١ً أو حوالى ١٠٠٠ كم . وتـوجد تحببات فائقـة تنتج من تيارات حمل واسعة النطاق وتمتد كل منها حوالى ١َ (حوالى ٦٠٠٠٠ كم) .



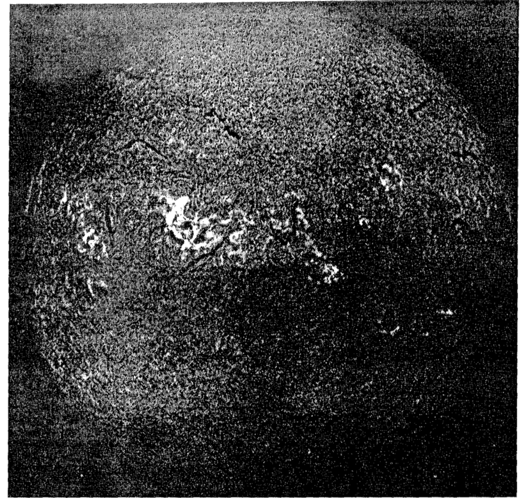
الكروموسفير:

يقع خارج الفوتوسفير طبقة سمكها حوالى ٥٠٠ كم ترتفع درجة الحرارة خلالها من ٤٥٠٠ k° إلى حوالى ٦٠٠٠ k° وهى طبقة الكروموسفير (الطبقة الملوثة) .

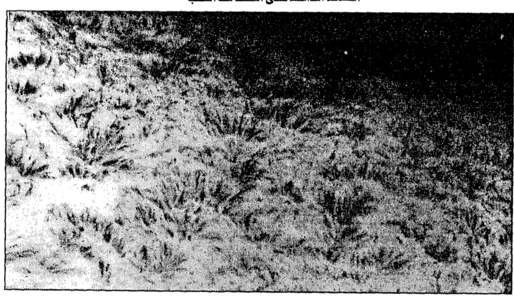
يقع خارج هذه الطبقة طبقة انتقالية سمكها عدة آلاف من الكيلو مترات ينتقل الكروموسفير خلالها تدريجيا إلى الكورونا ، وفى الأجزاء الخارجية من هذه المنطقة تصبح درجة الحرارة الحركية حوالى مليون درجة مطلقة .

وإشعاع الكروموسفير أضعف كثيرا من إشعاع الفوتوسفير ، ولذلك فهو طبقة غير مرئية لكنه يسطع لعدة ثوان أثناء الكسوف الكلى للشمس عندما يختفى الفوتوسفير تماما خلف القمر ويكون فى شكل حلقة رفيعة مائلة للاحمرار . كذلك يمكن خلال الكسوف رصد طيف الكروموسفير المسمى «طيف الوميض»، وهو طيف انبعاث خطى تم التعرف على أكثر من ٣٠٠٠ خط فيه ألمعها خطوط الهيدروجين والهيليوم وبعض المعادن.

ومن أقوى الخطوط فى طيف الكروموسفير الخط $H\propto$ عند الطول الموجى ٦٥٦,٣ mm هذا الخط شديد العتامة فى طيف الشمس المعتادة لذلك يظهر الكروموسفير فى الصور المأخوذة من هذا الطول الموجى (شكل ٣) وفى هذه الصور يظهر سطح الشمس كقرص مبرقش متموج ، أجزاؤه اللامعة فى حجم الحبيبات الفائقة وتحدها السنيبلات ، هذه الأخيرة تبدو كمشاعل تعلو لحوالى ١٠٠٠٠ كم فوق الكروموسفير وتستمر دقائق قليلة ، وهى تبدو فوق سطح الشمس المضىء كخطوط معتمة ، أما عند الحواف فتبدو كمشاعل مضيئة (شكل٤) .



شكـــــل (٣) سطح الشمس فى خط الهيدروجين وتظهر المناطق النشطة قرب خط الاستواء لامعة . أما الفتائل الداكنة فهى ألسنة من اللهب



شكل (٤) السنيبلات ، ما يشبه المشاعل ترتفع بالقرب من حافة قرص الشمس

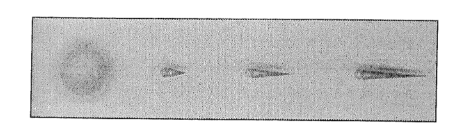
الكورونا (الهالة أو الإكليل) :

ترى خلال الكسوف الكلى كهالة من الضوء تمتد للخارج مسافات تصل لمرات قليلة مثل نصف قطر الشمس . ويعادل لمعان سطحها تقريبا لمعان القمر ولذلك تصعب رؤيتها مع الفوتوسفير (شكل ٢ أ) .

يسمى الجزء الداخلى منها (كورونا k) له طيف مستمر تكون نتيجة تشتت ضوء الفوتوسفير بواسطة الإلكترونات ، ثم على بعد قليل من أنصاف أقطار الشمس تأتى كورونا F التى يحتوى طيفها على خطوط امتصاص فرشهوفر ، وضوء كورونا F هو ضوء الشمس تشتت على الغبار . ويشير طيف الكورونا إلى أن درجة حرارة الكورونا حوالى مليون درجة .

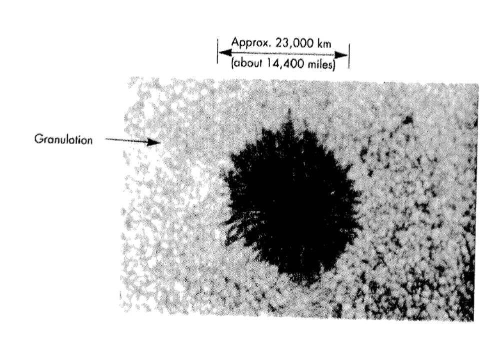
ولكى تحافظ الكورونا على درجة حرارتها المرتفعة يجب أن يوجد مصدر إمداد دائم بالطاقة . وتبعا للنظريات الأقدم كان يعتقد أن هذه الطاقة تأتى فى صورة موجات تصادمية صوتية أو هيدرومغناطيسية تتكون بالحمل عند سطح الشمس . إلا أن النظريات الأحدث ترى أنها نتاج تسخين تيارات كهربية يحدثها التغير فى المجالات المغناطيسية ، أى أنها تشبه ما يحدث فى المصباح الكهربى المعتاد .

وبرغم هذه الحرارة المرتفعة فإن الغاز فى الكورونا مخلخل بدرجة تجعل مجمل الحرارة المختزنة فيها صغيرا ، فهى دائمة الانسياب للخارج لتتحول تدريجيا إلى رياح شمسية وهى التى تحمل فيضا من الجسيمات بعيدا عن الشمس. وما يفقد من غاز بهذه الطريقة يتم تعويضه بمادة جديدة من الكروموسفير وبالقرب من الأرض تصل كثافة الرياح الشمسية لحوالى ٥ - ١٠ جسيمات / سم^{٣} وسرعتها حوالى ٥٠٠ كم / ث . ومجموع ما تفقده الشمس بواسطة الرياح الشمسية حوالى ١٠$^{-١٣}$ من كتلتها كل عام .



٧-٣ النشاط الشمسى :

البقع الشمسية : هى أوضح ما نرى من علامات نشاط الشمس (شكل ٥)، وقد عرفت منذ زمن بعيد لأن أكبرها يمكن أن يرى بالعين المجردة لو نظرنا للشمس من خلال طبقة كثيفة من الضباب أو من خلال مرشح ضوئى داكن . وقد بدأت الأرصاد الأكثر دقة فى القرن السابع عشر عندما استخدم جاليليو المنظار فى الأرصاد الفلكية .



شكل (٥) البقع الشمسية ، أقدم ما عرف من نشاط الشمس

والبقعة الشمسية عبارة عن شكل غير منتظم على سطح الشمس تبدو كما لو كانت خرقة بالية أو ثقبا أشعث فى السطح . وهى تتكون من جزء داخلى داكن يسمى منطقة الظل محاط بجزء أقل دكانة يسمى شبه الظل . وإذا نظرنا لبقعة تقع بالقرب من حافة قرص الشمس فإننا نلاحظ أنها منخفضة قليلا عن السطح المحيط بها . كما تقل درجة الحرارة فى البقعة حوالى ١٥٠٠ درجة عن حرارة المنطقة المحيطة بها وهو ما يفسر دكانة لونها .

وقطر البقعة النمطية حوالى ١٠٠٠٠ كم ويتراوح عمرها ما بين أيام قليلة إلى شهور عديدة تبعا لحجمها حيث تعمر كبراها فترة أطول . والبقع توجد غالبا فى صورة أزواج أو مجموعات أكبر ويمكن تعيين فترة دوران الشمس بتتبع البقع .

وبتتبع أعداد البقع الشمسية ما يقرب من ٢٥٠ سنة وجد أن تكرار البقع يمكن أن يوصف باستخدام عدد زيوريخ للبقع الشمسية :

$$Z = c\,(S + 10\,G) \qquad (1)$$

حيث S عدد البقع و G عدد مجموعات البقع المرئية فى لحظة معينة ، وc ثابت يعتمد على الراصد وظروف الرصد .

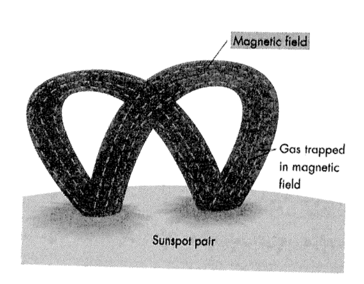
وقد أثبتت الدراسات أن عدد البقع الشمسية يتغير بدورة طولها حوالى ١١ سنة وإن كانت الدورة الفعلية تتراوح ما بين ٧ و ١٧ سنة . وعادة يرتفع نشاط الشمس سريعا ليصل لقمته خلال ٣ - ٤ سنوات ، ثم يهبط أكثر بطئا .

والتغير فى أعداد البقع يسير بانتظام منذ بداية القرن الثامن عشر . إلا أن القرن السابع عشر كانت هناك فترات طويلة خلت تماما من البقع وقد سميت تلك الفترة « موندر الدنيا » ، وقد حدث ذلك أيضا فى ما يسمى « سبورر الدنيا » فى القرن الخامس عشر ، كما تكرر ذلك فى الفترات الأقدم . ولا يعرف تفسير لهذه التغيرات غير المنتظمة حتى الآن .

الظواهر المغناطيسية المصاحبة للبقع الشمسية :

بقياس شدة المجال المغناطيسى داخل البقع الشمسية وجد أنها قد تصل لحوالى ٤٥ , تسلا (شدة مجال الأرض ٠٦ , مللى تسلا) . هذا المجال المغناطيسى القوى يعوق انتقال الحرارة بواسطة الحمل ، وهذا يفسر درجة الحرارة المنخفضة فى البقع .

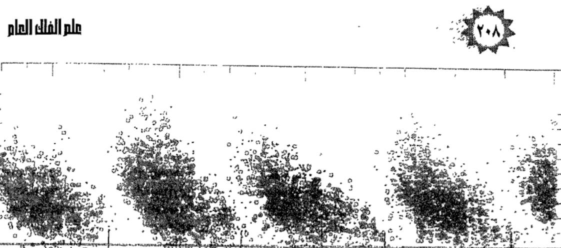
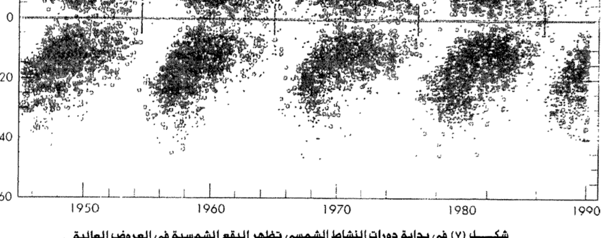
والبقع الشمسية غالبا ما توجد أزواجا تختلف مركباتها فى تطبيقها ، ويمكن فهم تركيب هذه المجـموعات ثنائية القطبية إذا كان المجال يـصعد فى عقدة فوق سطح الشمس تربط ما بين المركبـات فى أزواج من البقع . فإذا كان الغاز ينساب على امتداد هذه العقدة فإنها تظهر كلسان لهب أنشوطى (شكل ٦) .



شكـــــل (٦) فى أزواج البقع الشمسية تكون خطوط المجال المغناطيسى أنشوطة خارج سطح الشمس . وتكون المادة المنسابة على امتداد خطوط المجال ألسنة لهب أنشوطية

ويعكس التـغير الدورى فى عدد البـقع الشمسيـة تغيرا فى مجـال الشمس المغناطـيسى العام . عند بدء دورة نشـاط جديدة تبدأ البقع فى الـظهور أولا عند عرض حوالى ٤٠° ، وبتقدم الدورة تتحرك البقع مقتربة من خط الاستواء فى نسق مميز يسمى « شكل الفراشة » (شكـل ٧) . وتبدأ بقع الدورة التالية فى الظهور بينمـا تكون تلك التابعـة للدورة السابقة مـا تزال موجودة قرب خـط الاستواء . وتكون قطبية بقع الدورة الجديدة مضادة لتلك التابعة للدورة القديمة .

كذلك تختلف البقع الواقعة على جـانب خط الاستواء فى قطبيتها . بذلك يعكس المـجال قطبيتـه بين كل دورتين مـتعاقبـتين ، وبذلك تكـون دورة مجال الشمس المغناطيسى ٢٢ سنة .

شكـــل (٧) فى بداية دورات النشاط الشمسى تظهر البقع الشمسية فى العروض العالية . ومع تقدم الدورة تتحرك البقع من خط الاستواء ، فتشكل البقع على جابنيه ما يشبه الفراشات

ويوجد نموذج وصفى صوره « بابكوك » لدورة النشاط الشمسى ، يمكن إيجازه فيما يلى :

(i) عند النهاية الصغرى لدورة النشاط الشمسى يكون المجال المغناطيسى ثنائى القطب بصفة عامة .

(ii) لوجود وسط موصل (مثل طبقات الشمس الخارجية) فإن هذا الوسط لا يمكن تحركه عبر خطوط المجال ، لذلك يتجمد هذا الوسط فى البلازما ويحمل بواسطتها .

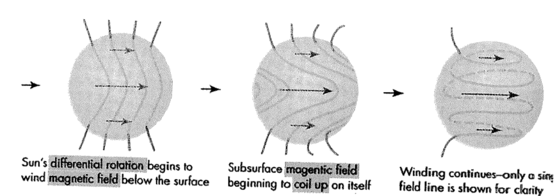
(iii) يتسبب الدوران التفاضلى للشمس (٢٥ يوما عند خط الاستواء ، ٣٠ يوما عند القطب) فى سحب المجال ليأخذ شكل لولب مشدود (شكل ٨) .

(iv) خلال هذه المراحل يشتد المجال ويكون هذا التكبير معتمدا على عرض المكان . وحالما تصبح شدة المجال تحت السطح كبيرة بدرجة كافية ينتج عنها طفو مغناطيسى يصعد بحبال الفيض المغناطيسى فوق السطح . ويحدث هذا أولا عند خط عرض ٤٠° ثم بعد ذلك عند خط الاستواء .

(v) ثم تتمدد تلك الحبال المغناطيسية فى صورة عقد تكون مجموعات البقع ثنائية القطبية .

(vi) باستمرار تـمدد الحبال المغناطيـسية يحدث اتصال بينهـا وبين المجال ثنائى الـقطب الذى ما يزال سـائدا فى المناطق الـجنوبية ، يؤدى هـذا إلى إعادة الاتصال بين خطوط المجال مما يؤدى لمعادلة المجال العام .

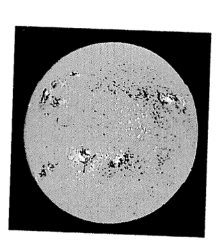
(vii) النتيجـة النهائية بعد هدوء النـشاط الشمسى هى عودة المـجال ثنائى القطب من جديد .



شكـــل (٨) تحول خطوط مجال الشمس المغناطيسى العام إلى لولب مشدود بتأثير دوران الشمس التفاضلى

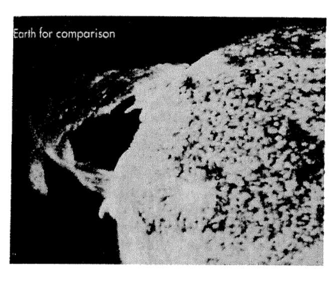
الأنشطة الأخرى : تظهر الشـمس صورا أخرى عديدة لنشاطهـا : مشاعل الفوتوسفير (Facules) ومشـاعل الكروبوسفـير (Plages) ، وألسـنة اللـهب (Prominences) والوميض الشمسى (Flares) .

المشاعل مناطق محلية مضيئة فى الفوتوسـفير والكروموسفـير . وترصد مـشاعـل الكرومـوسـفيـر فى الـطول الموجى $H\alpha$ أو فى خط الكالـسيوم K (شكل ٩) وتظهر مشاعل الكروموسفير عادة عـندما يبـدأ تكون بقع شـمسـية جديدة ، وتختفى عندما تختفى البقع . ومن الواضـح أنها نتـاج تسخـين زائد للـكروموسـفيـر فى وجـود مجـالات مغناطيسية قوية .



شكـــل (٩) مشاعل الكروموسفير

وألسنة اللهب من أبرز المظاهر الشمسية ، وهى كتل غازية متوهجة فى الكورونا يمكن رصدها بسهولة عند حافة الشمس وتوجد منها أصناف عديدة (شكل ٦ ، ١٠) . فمنها ألسنة اللهب الهادئة حيث تهبط الغازات ببطء على امتداد خطوط المجال المغناطيسى ، وألسنة اللهب الأنشوطية (شكل ٦) ، ومنها الألسنة المتفجرة وهى الأقل شيوعا وفيها يقذف الغاز بعنف بعيدا عن الشمس (شكل ١٠) .



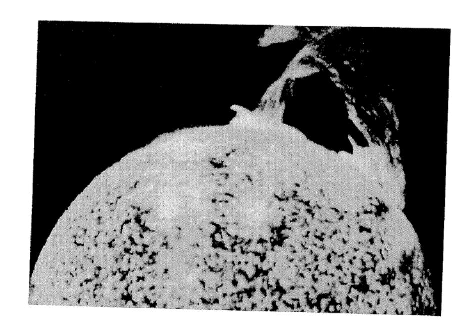


شكل (١٠)

أ - ألسنة اللهب الهادئة　　　　ب - ألسنة لهب متفجرة

ودرجة حرارة ألسنة اللهب حوالى ١٠٠٠٠ - ٢٠٠٠٠ k . وفى الصور المأخوذة فى الخط Hx تبدو الألسنة كفتائل (Filaments) على سطح الشمس .

أما الوميض الشمسى فهو من أعنف مظاهر النشاط الشمسى (شكل ١١). وهى تظهر كومضات لامعة تمكث من ثانية وحتى ما يقارب الساعة . وهى تنتج من التحرر المفاجئ لقدر كبير من الطاقة كان مختزنا فى المجال المغناطيسى .



شكـــل (١١) وميض شمسى عنيف بالقرب من بعض البقع الشمسية الصغيرة

ويمكن رصد الومـيض الشمسى فى كل الأطوال الموجيـة . ويزداد انبعاث الأشعة السـينية من الشمس حوالى مـائة مرة خلال الوميض الشـمسى ، وكذلك يزيد انبعاث جسيمات الأشعة الكونية الشمسية .

وتحدث الومـضات الشمسـية اضطرابات علـى الأرض ، فالأشعة السـينية تحدث تـغيرات فى الأيـونوسفيـر مما يؤثـر على الاتصال بعـيد المـدى بواسطة موجات الراديو القصيرة ، أما جسيمـات الوميض فتسبب أورورا قوية عندما تصل لمجال الأرض المغناطيسى بعد أيام قليلة من انبعاثها .

موجات الراديو والأشعة السينيـة وفوق البنفسجية : تبعث الشمس بكميات كبيرة من موجات الراديو والأشعة السينية وفـوق البنفسجية . وتزداد كثافة انبعاث تلك الإشعاعات بدرجة كبيرة أثناء النشاط الشمسى .

الفصل الثامن

احتمالات الحياة فى الكون

فى منطقة ما مـن مجرة طريق التبانة ومنذ ما يربـو على ٥ آلاف مليون سنة وقعت أحداث كـان نتاجها خلـق مجموعتنـا الشمسية ، وكـانت الأرض من بين كواكب هذه المجمـوعة ، قد قدر الله تعالى لها مكانة تختـلف عن باقى إخوانها من أسرة الشمس. فقـد وقعت عليها تطورات لا تقل أهمية عن خـلق المجموعة ذاتها، فى خـلال الألف مليون سنة الأولـى من عمرها نشـأت عليها الحـياة فى صورة طحالب ثم تطورت الحياة عليها وتطورت صورها وتعقدت إلى أن أراد الله أن يعـمرها كـائن ذكى يمكـن أن يكوّن حـضارة وأن يسـجل تاريخـا ، هذا هو الإنسان؛ ولأن حـاجة الإنسان إلى سـبر أغوار المجـهول لا تقل عن حاجـته إلى الطعام فقد سعى لاستكشاف الكون ، وفى استكشافه هذا للكون ثارت التساؤلات وتعددت عن الحياة ، هلى هى فوق الأرض حادث فريد فى الكون أم أنها تكررت فى أنحاء أخرى من هذا الكون الفسيح ؟

فهل وجدت هذه التساؤلات أجوبة شافية ؟؟

٨ - ١ تطور الحياة على الأرض :

يبلغ عمر الأرض حـوالى ٤,٦ بليون سنة ، وقد أظهرت بـعض الحفريات وجود طحـالب على الأرض منذ حوالـى ٣,١ بليون سنة ، مـشيرة إلى احتـمال نشوء الحـياة على الأرض خلال الألـف مليون سنة الأولى مـن نشوئها . ويشـير تطور كميات الأكسـجين فى الهواء الجوى لبدء الحياة الـنباتية على الأرض خلال الألف مليون سنة الأخـيرة ؛ فالأكسجين الجـوى نتاج لعملية التمـثيل الضوئى . وتشير الدراسات إلى أنه كان يمثل نسـبة ١ ٪ فقط من الغلاف الهوائى منذ حوالى ٦٠٠ مليون سنة بينما يمثل الآن حوالى ٢١ ٪ .

وإذا توقفـت عمليـة التمثـيل الضوئـى ينفد الأكـسجين الـجوى بعمـليات الاحتراق والتنفس والتحلل خلال ما يقرب من ١٠٠٠٠ سنة ، وقد يسرع إحراق الفحم والبـترول بهذا المعدل ، ولـكن الكميات المتـاحة من كليهما سـوف تنفد أسرع كثيرا من الأكسجين .

٨-٢ احتمالات الحياة المتطورة فى المجرة :

يقارب عدد المجرات التى يمكن رصدها ١٠٠٠ مليون مجرة ، وقد يوجد أضعافها من المجرات التى لا يـمكن رصدها . يضم كل من هذه المجرات آلاف الملايين من النـجوم التى لابد وأن يكون لعدد غيـر قليل منها توابع كوكبـية مما يزيد من احتمالات وجود حياة فى أرجاء أخرى من الكون خارج مجرتنا ، ولكن المسافات الشاسعة بين المجرات والتى يقطعها الضوء فى ملايين عديدة من السنين تجعل من الصعب اكتشاف الحياة خارج مجرتنا .

٨-٢-١ عدد الحضارات المحتملة فى مجرتنا :

إذا كان «ن» هو عدد الحضـارات المتطورة القادرة على الاتصال فيـما بينها وبيننا فى المجرة ، يمكن التعبير عن ن كحاصل ضرب سبعة عوامل :

$$ن = (ن١ ك_١ ك_٢) (ك٣ ك٤) (ك٥ ك٦) .$$

حيث

ن ١ : عدد النجوم فى المجرة .

ك ١ : نسبة عدد النجوم المصحوبة بمجموعات كوكبية .

ك٢ : عدد الكواكب الصالحة لنشوء الحياة فى كل مجموعة .

ك ٣ : نسبة عدد الكواكب التى نشأت عليها الحياة فعلا .

ك ٤ : نسبة عدد الكواكب التى تطورت عليها كائنات ذكية .

ك ٥ : نسبة عدد الـكواكب التى تطورت عليها حضـارات قادرة على تبادل الاتصالات .

ك ٦ : متوسط فـترة بقاء تلك الحضارات مـنسوبة لمتوسط أعـمار النجوم المصحوبة بمجموعات كوكبية .

والآن لنلقى نظرة سريعة على القيم العددية الممكنة لهذه العوامل .

(١) كتلة المجرة = ٢ × ١٠^{١١} قدر كتلة الشمس .

متوسط كتلة النجوم السائدة فى المجرة < $\frac{١}{٢}$ كتلة الشمس .



∴ عدد النجوم فى المجرة $ن_١ \approx ٤ \times ١٠^{١١}$

(٢) نصف عدد النجوم القريبة من الشمس موجودة فى مجموعات من نجمين أو أكثر ، وفى حالة النجوم المزدوجة لا يكون مدار الكواكب مستقرا إلا على بعد من النجم الأكبر يقل عن ثلث نصف قطر المنطقة التى يمكن أن تنشأ فيها حياة (بالنسبة للنجوم المتقاربة) ، أو أكثر من ثلاثة أمثال هذه المسافة (بالنسبة للنجوم المتباعدة) وعلى ذلك فالأفضل إغفال تلك المجموعات النجمية واعتبار أن $ك_١ = \frac{١}{٢}$.

(٣) إذا أخذنا فى الاعتبار فقط النجوم التى لا تختلف ظروفها الطبيعية كثيرا عن الشمس والتى تكون مستقرة لفترة لا تقل عن ١٠٠٠ مليون سنة (F2-K5) وهى أقل فترة تلزم لنشوء الحياة وتطورها فإن $ك_٢ = ١,٠$.

(٤) يعتبر كثير من علماء الحياة أن الحياة لابد أن تنشأ إذا ما توفرت الظروف المواتية . وبذلك يكون $ك_٣ = ١$

ولكن بعض الآراء المحافظة تفضل اعتبار أن $ك_٣ = ١,٠$.

(٥) بما أن نشوء حضارة على الأرض قادرة على الاتصال بأنحاء أخرى من المجرة استغرق حوالى ٤٥٠٠ مليون سنة فإنه يمكن اعتبار أن :

$ك_٤ = ١$ أو $ك_٤ = ١,٠$

(٦) ليست كل الكائنات أو الحضارات مهتمة بالاتصال بغيرها ، وعلى ذلك يمكن اعتبار أن :

$ك_٥ = ٥,٠$ إلى $١,٠$

(٧) فترة بقاء النجم المصحوب بمجموعات كوكبية $\simeq$ ١٠٠٠٠ مليون سنة لنفرض أن فترة استمرار حضارة ما = $١٠^{-٥}$ إلى $١٠^{٤}$ سنة .

∴ $ك_٦ = ١٠^{-٥}$ إلى $١٠^{-٦}$

وعلى ذلك يكون عدد الحضارات المطلوبة هو :

$ن = ١٠^{٥} - ٢٠$

ويتراوح بعد أقرب الحضـارات منا (إن وجدت) بين أقل من ١٠٠٠ إلى عدة عشرات من آلاف السنين الضوئية .

٨-٣ السفر بين النجوم :

حيث لا يمكننا الترحال بسرعـات تزيد عن سرعة الضوء فإن أى رحلة إلى أقرب الحضارات لنا (إن وجدت) تستـغرق على الأقل مئات بل آلاف السنين . ولكى تتم الرحـلات خلال حياة أى إنسان نحاول أن نسـتفيد من تأثيرات النـسبية والتى تجـعل زمن السفينـة المسافرة بسـرعة تقارب سرعـة الضوء يبطئ بالنـسبة لمقاييسنا . فإذا كانت السفينة تسير بسرعة ع وسرعة الضوء ع. فإن الفترة الزمنية (س٢ − س١) على الأرض تناظر الفترة (سَ٢ − سَ١) على السفينة حيث :

$$\text{سَ}_٢ - \text{سَ}_١ = \sqrt{١ - \frac{\text{ع}^٢}{\text{ع}_.^٢}} \; (\text{س}_٢ - \text{س}_١) \; .$$

مثال : لنـفترض أننا نخطط لرحـلة تستغرق ٤٠٠ سنـة وأردنا إبطاء الزمن لخمس مقداره ليصبح ٨٠ سنة .

∴ السرعة المطلوبة = ٩٨, ع. .

وإذا كانت الأحمال المراد نقلها ١٠ طن وكتلة الماكينات وأجهزة الدفع ١٠ طن تكون الطاقة المطلوبة ٤×١٠^{٢٩} إرج .

وهى تعادل الطاقة اللازمة لاستهلاك العالم أجمع لمدة ٢٠٠ سنة . فإذا ما أردنا بلوغ هذه السرعة بعجلة مساوية لعـجلة الجاذبية الأرضية لاحتجنا إلى ٢,٣ سنة و٤٠ مليون محطة تولد كل منها طاقة قدرها ١٥ مليون وات تنقل بكفاءة تامة بواسطة ٦٠٠٠ مليون محطة محولات قدرة ١٠٠ ألف وات لكل منها .

فهل تتسع حمولة ٢٠ طنا لكل هذا ؟

وكخطوة مـتواضعة فى هـذا الطريق فقد وضـعت بيونير ١٠ بعـد مرورها بالمشترى فى مدار تخرج فيه من المجموعة الشمسية حاملة رسوما لإنسان الأرض ورسائل تصف العالم الذى خرجت منه .

كثيرا ما يقال بأن الأرض إذا ضاقت بسكانها فإن فى القمر والمريخ وغيرهما متسعا لهم . ولكن الدراسات الجادة أوضحت أن القمر والمريخ (إذا ما تغاضينا

عن الصعوبات الجسيمة التى تعترض الحياة فوق أى منهما) لا يستطيعان استيعاب زيادة السكان على الأرض لأكثر من ٣٥ سنة . أما إذا افترضنا احتمالات حسنة لوجود كواكب صالحة للحياة فى حدود ١٥٠ سنة ضوئية لاستطعنا استيعاب الزيادة السكانية على الأرض مدة ٥٠٠ سنة .

٨ - ٤ احتمالات الغزو فيما بين النجوم :

يتضح مما سبق أن السفر بين النجوم لا يمكن بحال أن يتم فى حياة أى إنسان ولكى يصبح السفر بين النجوم وغزوها ممكن الحدوث يجب أن تقوم به مجموعات من آلاف المتطوعين تنظم رحلات يستقلون خلالها ما يشبه منازل ضخمة متحركة تستمر لأجيال عديدة متتالية يتنقلون خلالها من كوكب حول أحد النجوم إلى آخر حول نجم غيره ، وتزود هذه المركبات الضخمة بأجهزة يمكنها الاستفادة من طاقات النجوم التى تمر بها ومن مجالات جذبها الضخمة ، وكذلك يجب تزويدها بما يسمح لها بتوليد الطاقة النووية وقت اللزوم .

وبإمكاناتنا الحالية يمكن لمثل هذه الرحلات أن تغطى كل أنحاء مجرتنا فى خلال ١٠ ملايين سنة .

وحيث إن عمر الأرض أطول من ذلك بكثير فإن أى سكان متقدمين فى أنحاء أخرى من المجرة لابد وأنهم قد زاروا الأرض مرات عديدة ، ويثير هذا احتمالات لم تجد جوابا شافيا حتى الآن :

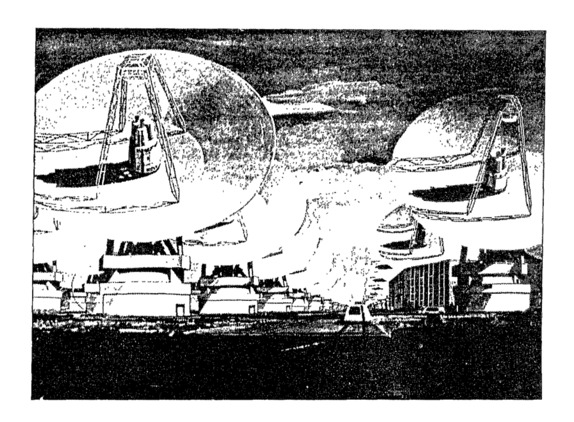
(١) أن تكون الحياة فوق كوكب الأرض فريدة بين كواكب مجرتنا ، وفى هذه الحالة يكون احتمال نشوء حياة متطورة أقل من $١٠^{-٦}$.

(٢) أن تكون هناك حضارات أخرى فى المجرة لكنها لم تهتم بمحاولة التجوال بين النجوم أو محاولة الاتصال بنا أو ليس لديها القدرة لمثل هذا التجوال أو الاتصال .

(٣) أن يكون قد حدث فعلا غزو استطلاعى للأرض وبقية أنحاء المجموعة الشمسية .

٨-٥ الاستيطان فى حزام الكويكبات :

إذا صدق الاحتمال الثالث وكان هناك غزاة للمجموعة الشمسية قد وصلوا إليها فعلا ، فإنهم ربما يكونون الآن مقيمين فوق أحد كواكب المجموعة أو يدورون فى مدار قريب من مدار الأرض . ويرى بعض الباحثين أن أنسب مكان لهؤلاء الغزاة هو حزام الكويكبات ، حيث يمكنهم الحصول بيسر على ما يحتاجونه من معادن أو مركبات عضوية ، كما يمكنهم الحصول على الوقود النووى من المشترى ، كذلك فإن وجودهم بين العديد من الكويكبات المتقاربة فى الحجم يجعل من الصعب الكشف عن وجودهم ؛ إضافة إلى أن سفرهم أو هبوطهم على أى من الكويكبات لا يحتاج إلا لقدر يسير من الطاقة . ويمكن التحقق من صحة أو خطأ هذا الفرض برصد أى تغير محسوس فى درجة حرارة أحد الكويكبات .



شكل (١) مجموعة مناظير راديوية لاستقبال أى إشارات من خارج الأرض



٨-٦ الإتصال بالحضارات الأخرى :

حتى الآن لا يؤمل كثيرا فى تبادل الرسائل مع ما يوجد من حضارات أخرى فى المجرة . ولكن الاحتمال المأمـول هو استقبال أو إرسال رسائل راديوية على الموجة ٢١ سم التى يشعها الأيدروجين المتعادل فى الفراغ وتطوف بجميع أرجاء المجرة .

وقد تـم فعلا بث رسـائل تزيد قـليلا عن عـشرين رسـالة بواسطة فلـكيى الولايات المتحدة الأمريكية وكندا والإتحـاد السوفيتى . كما تم وضع تخطيط فى الولايات الأمريكية المتحدة لعدد ضخم من المناظير الراديوية قطر هوائى كل منها حوالى ١٠٠ متر تمتـد لمسافة ٥ كيلو مترات وتستـقبل الموجات من ١٤٢٠ إلى ١٦٦٠ ميجا هيرتز من بعد يصل إلى ١٠٠٠ سنة ضوئية (شكل ١) .

٨-٧ عدد الكواكب المأهولة فى الكون :

يتطلب تعـيين عدد الكواكب المأهـولة فى الكون المرئى استـخدام نموذج كونى مناسب وتـعيين الكثافة الـمحلية للنجوم الـمأهولة . وتتميز أبـسط النماذج الكونية وأكثرها قبولا بالآتى :

١ - ثابت هبل هـ = ٥٠ كم / ث . م ب (م ب = ميجا بارسك = مليون بارسك . والبارسك = ٣,٢٦ سنة ضوئية) .

٢ - النسبة بيـن الكثافة الحالية لمـادة الكون والكثافة الحرجـة التى يتوقف عندها تمدد الكون .

جـ = $\frac{٨ \text{ ط } G \text{ ث}}{٣ \text{ هـ}^{٢}}$ حـيـث G هو ثابت الجاذبية العام ، ث الـكثافة الحالية لمادة الكون .

ويتمدد شكل الكون تبعا لقيمة جـ كالآتى :

(١) إذا كانت جـ > ١ يكون الكون مغلقا على نـفسه وذا حجم محدود ، وبذلك سـوف يتوقف عن التـمدد عند لحـظة معيـنة فى المسـتقبل ثم يـبدأ فى الانكماش مرة أخرى .

(٢) إذا كانت جـ = ١ يكون الكون كفراغ أقليدى غير محدود الحجم يتمدد بلا نهاية .

(٣) إذا كانت جـ < ١ يكون انحناء الكون سالبا وحجمه غير محدود وبذلك يتمدد إلى الأبد .

لنناقش الآن ما يعنيه ذلك بالنسبة للحياة فى الكون :

$$\frac{\text{الضياء الصادر من كل من (م ب)}^{٣}\text{ من حجم الكون}}{\text{الضياء الكلى للمجرة}} = ٣ \times ١٠^{-٣}$$

عدد الكواكب المأهولة (المشابهة للأرض) فى المجرة ن $\simeq$ $١٠^{٦}$

$\therefore$ كثافة الكواكب المأهولة فى الكون ث = ٣ × $١٠^{٣}$ كوكب / م ب

فإذا كانت جـ > ١ (تساوى ٢ مثلا) فإن الكون يماثل فى هندسته كرة فى فراغ ذى ثلاثة أبعاد ونصف قطر انحنائه ٦٠٠٠ م ب

وحجمه ح = ٤,٣ × $١٠^{١٢}$ (م ب $)^{٣}$

فيكون عدد الكواكب المأهولة ن = ث ح $\simeq$ $١٠^{١٦}$

من ذلك يتضح أنه سوف تكون هناك حضارات أخرى فى الكون إذا كان احتمال نشوء حضارة متطورة على كل كوكب مأهول

م > $١٠^{-١٦}$

أما إذا كانت جـ $\leq$ ١ فإن

ح = ∞

، ن = ∞

وبما أن احتمال نشوء حضارة متطورة فوق كل كوكب مأهول > صفر فينتج أن هناك عددا لا نهائى من الحضارات المتطورة فى الكون ، إذا كان هذا الاحتمال صغيرا جدا فإن أقرب هذه الحضارات ستكون بعيدة عنا كثيرا .



٨-٨ تأثير العمر المحدود للكون :

إننا لا نستطيع رؤية الـكون بجميع أرجائه نظرا لعمره الـمحدود ، ويسمى حد الرؤية بالأفق الكونى (Particle horizon) وهو يمثل أقصى بعد للأجسام التى يمكن أن تصلنـا منها فوتونات فى الوقت الحاضر ، أمـا الأجسام التى يزيد بعدها عن ذلك فما زالت الفوتونات الصادرة عنها فى الطريق ولم تصلنا بعد .

وبمرور الزمن تزداد آفاق الحضارات الكونية المـختلفة اقترابا ويزيد احتمال الاتصال بينها. فـإذا افترضنا أن الحضارات الكونية بـدأت منذ ٢٠٠٠ مليون سنة فإنه يمكننا رؤية حضارات كونية أخرى إذا كـان احتمال نشوء حضارة متطورة فوق كل كوكب مأهول أكبر من ١,٥ × ١٠^-١٢ .

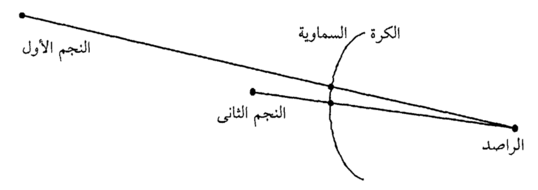
الفصل التاسع

النجوم

في هذا الفصل نتناول بإيجاز خصائص نجوم السماء ومجموعاتها فنَصف كيف تولد وكيف تحيا وكيف تموت .

٩-١ النجوم المزدوجة :

كثيرا ما يبدو لنا فى السماء نجوم ، نجمان نظنهما من قربهما مجموعة واحدة ، إلا أنهما فى حقيقة الأمر يكونان متباعدين بعدا قصيا لكن بديا قريبين ؛



شكل (١) المزدوجات البصرية

لصغر الزاوية بينهما على الكرة السماوية . مزدوجات الصدفة هذه تسمى مزدوجات الصدفة البصرية (Optical Binaries) (شكل ١) مع هذا فكثير من المزدوجات تكون فعلا على نفس البعد وتكون نظاما فيزيائيا واحدا يدور فيه كل منهما حول الآخر ، بل إن أكثر من ٥٠ ٪ من النجوم تنتمى لنظم من نجمين أو أكثر . وبصفة عامة للنظم المركبة أنساق لا تحيد عنها ، نجم ومزدوج يدوران حول بعضهما البعض فى النظم الثلاثية ، أو مزدوجان يدوران حول بعضهما البعض فى النظم الرباعية . وبذلك فإن معظم النظم المركبة يمكن دراستها كمزدوجات مختلفة الرتب .

وتصنف النجوم المزدوجة تبعا لطريقة كشفها :

(أ) **المزدوجات البصرية** (Visual binaries) : يمكن رؤيتها كنجوم منفصلة يزيد الفاصل بين نجومها عن ١,٠ ثانية قوسية .



(ب) **مزدوجات استرومترية** (Astrometric binaries) : يرى منها نجم واحد لكن حركته توضح وجود نجم آخر غير مرئى .

(جـ) **المزدوجات الطيفية** (Spectroscopinaris) : لا يسمح قربها الشديد من بعضها برؤيتها كنجمين منفصلين خلال المنظار فتبدو كنجم واحد . ولكن تعرف من طيفها حيث يحتوى مجموعتين من الخطوط ، كما تنزاح الخطوط بتأثير دوبلر نتيجة حركة الثنائى .

(د) **المزدوجات الفوتومترية أو الكسوفية** (Photometric or eclipsing) : تكون قريبة من بعضها البعض ويسمح وضع مدارها (بوقوع مستواه قريبا من خط البصر) أن يحدث كسوف متبادل للنجمين فيظهر الثنائى ألمع ما يمكن عند ظهور النجمين معا ، ثم يخفت الضوء بصورة ملحوظة باختفاء النجم اللامع . ويختفى بدرجة أقل حين يختفى النجم الخافت .

ويمكن تقسيم النجوم المزدوجة تبعا للمسافة بين النجمين . ففى المزدوجات المتباعدة يتراوح البعد بين نجميها ما بين عشرات ومئات الوحدات الفلكية وأزمنتها الدورية بين عشرات وآلاف السنين . بينما فى النجوم المتقاربة تتراوح بين ساعات قليلة وسنوات قليلة .

والنجوم فى النظم الثنائية تتحرك حول مركز كتلتها فى قطاعات ناقصة .

٩-٢ تركيب النجوم :

النجوم كتل غاز ضخمة كتلتها مئات الآلاف أو ملايين المرات ضعف كتلة الأرض . ويمكن لنجم مثل الشمس أن يمضى لامعا باستقرار آلاف الملايين من السنين ، يتضح هذا من دراسات الأرض فى حقب ما قبل التاريخ ، فقد أوضحت تلك الدراسات عدم وجود أى تغير ملحوظ فيما تشع الشمس من طاقة خلال الأربع آلاف مليون سنة الأخيرة . وعلى امتداد مثل هذه الفترة من عمر النجم يجب أن يكون توازنه مستقرا .

وعادة يمكن التعبير رياضيا عن الاتزان الداخلى للنجم من خلال أربع معادلات تفاضلية :



١ – معادلة التوازن الهيدروستاتيكى ، وهى تعبير عن اتزان قوى التجارب التثاقلى التى تجذب مادة النجم للداخل مع قوة ضغط الغازات التى تميل لدفعها للخارج (سواء المتعادل منها أو المشحون) .

٢ – تعطى المعادلة الثانية كتلة المادة المحتواة داخل نصف قطر معين وهى تعبر عن اتصال المادة .

٣ – تعبر المعادلة الثالثة عن حفظ الطاقة داخل النجم ، بما يعنى اقتضاء أن أى طاقة ينتجها النجم تحمل إلى سطحه حتى يشعها إلى الخارج .

٤ – أما المعادلة الرابعة فتعبر عن تغير درجة الحرارة بالبعد عن المركز .

يصاحب تلك المعادلات أربعة شروط حدية (i) لا توجد مصادر للمادة أو الطاقة عند المركز ، (ii) الكتلة الكلية للمادة داخل نصف قطر معين لا تتغير ، أى أنه يمكن تحديد نصف القطر المناظر للكتلة ، (iii) لصغير قيم الضغط ودرجة الحرارة عند السطح مقارنة بقيمها عند المركز ، يكفى اعتبار كليهما مساو للصفر .

كذلك يلزم استخدام معادلة حالة مناسبة وصيغ معاملات الامتصاص ومعدلات إنتاج الطاقة .

والنجم فى فترة استقراره ينتج الطاقة من خلال تفاعلات نووية اندماجية تتحول من خلالها أنوية المواد الخفيفة لأنوية أثقل مع انطلاق فارق الكتلة فى صورة طاقة تبعا لقانون أينشتين $E = mc2$ حيث c هى سرعة الضوء . وحيث إن معظم مادة النجم تتكون من الهيدروجين يبدأ النجم حياته بسيادة التفاعلات التى يتحول فيها الهيدروجين إلى هليوم ، وبعد فترة من حياة النجم يبدأ الهليوم فى التحول إلى عناصر أثقل وهكذا . ولنعتبر قدر الطاقة الناتجة من اندماج أربع من أنوية الهيدروجين لتكوين نواة هليوم .

كتلة البروتون ١,٦٧٢٥ × $١٠^{-٢٧}$ كجم ، وكتلة نواة الهليوم ٦,٦٤٤ × $١٠^{-٢٧}$ كجم ، فارق الكتلة ٤,٦$^{-٢٩}$ كجم (= ٠,٧ ٪ من الكتلة المتبقية) وهو ما يعادل انطلاق طاقة قدرها ٤,١ × $١٠^{-١٢}$ جول ؛ أى أن تحول ١ كجم من الهيدروجين ينتج طاقة قدرها ٦,١ × $١٠^{١٤}$ جول . وهذه الطاقة تنتج فى لب النجم .

ويلاحظ أن معادلة الميل الحرارى المطلوبة فى الشرط الرابع تعتمد على وسيلة انتقال الطاقة داخل النجم ، ففى داخل النجوم العادية يكون التوصيل غير مؤثر ، ذلك أن الإلكترونات الحاملة للطاقة لا يمكنها التحرك سوى مسافة قصيرة قبل أن تصطدم بجسيمات أخرى ، وبذلك فالتوصيل لا يقوم بدور يذكر إلا فى النجوم الكثيفة . مثل الأقزام البيض والنجوم النيوترونية حيث يزداد المسار الحر للإلكترونات كثيرا ، لذلك يسود فى النجوم العادية انتقال الطاقة بواسطة الإشعاع أو الحمل .

يمكن حل المعادلات المذكورة إذا عرفت كتلة النجم وتركيبه الكيميائى . ويتيح هذا الحل حساب نماذج للنجوم وتفسير علاقة الكتلة بالنورانية .

وجدول (١) يعطى نموذجا لنجوم التتابع الرئيسى المتكونة حديثا (أى ذات العمر صفر) بافتراض تكونها من ٧١ ٪ هيدروجين و ٢٧ ٪ هليوم و ٢ ٪ عناصر أثقل .

جدول رقم (١) خواص نجوم التتابع الرئيسى ذات العمر صفر

$\frac{M_{ce}}{M}$	$\frac{M_{ci}}{M}$	P_c (glan^3)	Te (10^6 k)	$\frac{R}{R_\odot}$	Te (10^3 k)	$\frac{L}{L_\odot}$	$\frac{M}{M_\odot}$
٠	٠,٦٠	٣,٠	٣٦	٦,٦	٤٤	١٤٠٠٠٠	٣٠
٠	٠,٣٩	٦,٢	٣٤	٤,٧	٣٢	٢١٠٠٠	١٥
٠	٠,٢٦	٧,٩	٣١	٣,٥	٢٦	٤٥٠٠	٩
٠	٠,٢٢	٢٦	٢٧	٢,٢	٢٠	٦٣٠	٥
٠	٠,١٨	٤٢	٢٤	١,٧	١٤	٩٣	٣
٠	٠,٠٦	٩٥	١٩	١,٢	٨,١	٥,٤	١,٥
,٠١	٠	٨٩	١٤	,٨٧	٥,٨	٠,٧٤	١
,٤١	٠	٧٨	٩,١	,٤٤	٣,٩	٠,٠٣٨	٠,٥

c : مركزى ، ci : الداخلى الحملى (نقل الحرارة بالحمل) ، ce : الوشاح الحملى .



٩ - ٣ تطور النجوم :

بمرور فترات طويلة من الزمن يتغير التركيب الكيميائى للنجم كنتيجة للتحولات النووية التى تحدث بداخله ، بذلك يتغير النموذج الممثل للنجم والظروف الفيزيائية السائدة بداخله فيتطور النجم ليمر بمراحل متنوعة فى حياته .

وتوجد للنجم ثلاث مقاييس زمنية لتطور النجم تختلف تماما مع مراحل حياته المختلفة .

مقياس الزمن النووى t_n : هو الزمن الذى يمكن للنجم خلاله أن يشع للخارج كل ما يمكن أن يتحرر من طاقة التفاعلات النووية . ويمكن تقدير هذا الزمن بحساب الفترة اللازمة لاستنفاد كل مخزون النجم المتاح من الهيدروجين بتحوله إلى هليوم. وتبعا للتقديرات النظرية لا يمكن للنجم أن يستنفد سوى ١٠٪ من مخزونه من الهيدروجين ثم يتحول لمرحلة أخرى يكون التطور فيها أسرع .

وحيث إن حوالى ٧, ٪ من الكتلة يتحول إلى طاقة بحرق الهيدروجين يكون مقياس الزمن النووى

$$t_n = \frac{0.007 \times 0.1\ Mc^2}{L} \qquad (1)$$

من (١) نجد مقياس الزمن النووى للشمس ١٠ آلاف مليون سنة ، وبذلك يمكن كتابة (١) فى الصورة الأسهل

$$t_n \approx \frac{M / M_{\odot}}{L / L_{\odot}} \times 10^{10}\ \text{year} \qquad (2)$$

فلو كانت كتلة أحد النجوم $30\ M_{\odot}$ يكون t_n حوالى ٢ مليون سنة ، وسبب هذا أن النورانية تزداد كثيرا للكتل الكبيرة ، وهذا واضح من الجدول (١) .

والنجوم تتبع فى تطورها على التتابع الرئيسى مقياس الزمن النووى .

مقياس الزمن الحرارى t_d : هو الفترة التى تمضى ليشع النجم للخارج طاقته الحرارية إذا توقفت التفاعلات النووية فجأة . هذا الزمن يساوى الفترة التى يستغرقها الإشعاع ليصل من مركز النجم حتى سطحه . ويمكن تقديره بالعلاقة

$$t_t = \frac{0.5\ GM^2 / R}{L} \approx \frac{(M / M_{\odot})^2}{(R / R_{\odot})(L / L_{\odot})} \times 2 \times 10^7\ \text{year} \qquad (3)$$

حيث G ثابت التثاقل و R نصف قطر النجم . من (3) يمكن حساب

مقـياس الزمن الحرارى لـلشمس بحـوالى ٢٠ مليون سنة ، أى حـوالى $\frac{١}{٥٠٠}$ من المقياس النووى .

مقياس الزمـن الديناميكى t_d : هو أقـصر تلـك الأزمنة وهو الـزمن الذى يستـغرقه النجم لينـهار إذا أزيح فجأة الـضغط الذى يدعمـه ضد تأثير التـثاقل . ويمكن تقديره بالفترة التى يستغرقها جسيم فى السقوط الحر من سطح النجم حتى مركزه . وحيث إن الجسـيم يتبع فى سقوطه قطعا ناقصا قـطر الأكبر يساوى قطر النجم R فإن الزمن المطلوب يساوى نصف الزمن الدورى فى هذا القطع، أى أن

$$t_d = \frac{2\Pi}{2}\sqrt{\frac{(R/2)^3}{GM}} \approx \sqrt{\frac{R^3}{GM}} \qquad (4)$$

وهو ما يساوى حوالى نصف ساعة فى حالة الشمس .

من ذلك نرى أن

$$t_d << t_t << t_n$$

نبذة عن مراحل التطور فى حياة النجوم :

تتكون النجوم عادة بـانكماش سحابات المادة ما بين النجـوم ، فعندما تبدأ السحابة فى الانكمـاش تأخذ درجة حرارتها فى الارتفاع ، فإذا كانت كـتلتها أكبر من ٠٨ , من كتلة الشمس تـبدأ التفاعلات النووية بداخلها عندما تـبلغ حدا معينا من التسـخين ، وبذلك تبدأ فتـرة حياتها كنجم عـلى التتابع الرئيسـى. وتختلف مراحل التطور بعد ذلك اختلافا بينا تبـعا لكتلة النجم . إلا أن كل النجوم تقضى معظم حياتها على التتابع الرئيسى وهى الفترة المقدرة بالزمن t_n .

(أ) النجوم ما بين $0.08\ M_{\odot}$ - $0.26\ M_{\odot}$:

تطور هذه النجوم بسيـط لدرجة كبيرة ، فطوال مكثها على الـتتابع الرئيسى يكون توصيل الطاقة فيها بالكامل بواسـطة الحمل ، مما يعنى أن كل محتواها من الهيدروجين متاح كوقود . وهذه النجـوم تتطور ببطء شديد للجزء الشمال الأعلى من شكل H - R ، ثم فى النهاية عنـدما يحترق كل مخزونها مـن الهيدروجين يتحول إلى هيليوم تنكمش لتتحول إلى قزم أبيض .

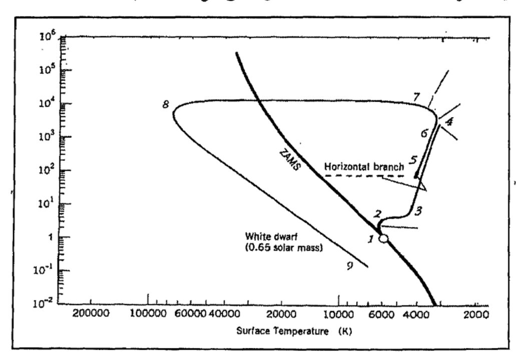
(ب) النجوم المساوية للشمس فى الكتلة :

يمكن إيجاز مراحل تطور هذه النجوم كما يـلى تبعا للمراحل الموضحة فى شكل (٢) .

(١) بدء احتراق الهيدروجين فى اللب (التتابع الرئيسى) .

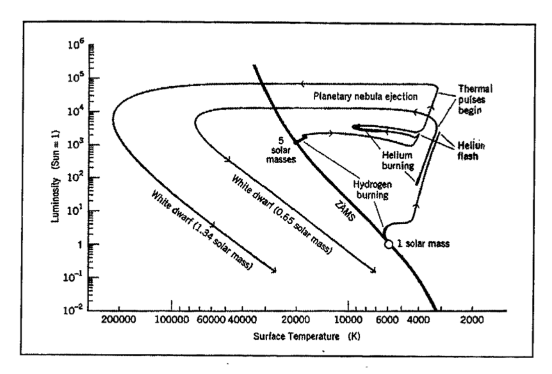
(٢) يتـحول كل الهـيدروجيـن فى اللب تقـريبا إلى هـليوم وترتفـع درجة الحرارة فـى اللب بالتدريج فـيزداد انسيـاب الطاقة تجـاه السطح ويزداد اللمـعان ويصبح النجم مهيأ للتحول لعمـلاق أحمر حيث يبدأ حرق الهيدروجين فى غلاف محيط باللب .

(٣) يبدأ اللب فى الانكماش بتأثير التثاقل بينما يتمدد النجم بواسطة الحمل فى وشاح النجم ، ويبدأ فى التحول إلى عـملاق أحمر ، فى هذه المرحلة يكون لب العملاق الأحمر قد انضغط بتأثير التثاقل لدرجة تتحرر عندها الإلكترونات من أنويتها ليـتحول اللب إلى غاز متحلل يعـتمد فيه الضغط على الكثـافة فقط وليس على درجة الحـرارة فيتوازن برغم غيـاب التفاعلات النووية . وهذا الـغاز موصل جيد للحرارة ، ولذا تتساوى درجة الحرارة فى كل أنحاء اللب .



شكــــل (٢) أ - مسار تطور النجوم المساوية فى كتلتها لكتلة الشمس





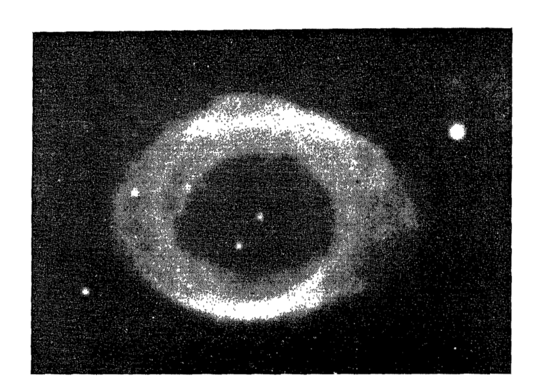
شكــــل (٢) ب- مسار تطور النجوم ذات الكتل ١ - ٥ كتلة شمسية

(٤) بدخول النجم لمرحلة العملاق الأحمر تكون درجة حرارة اللب المنكمش قد وصلت لدرجة تسمح ببدء احتراق الهليوم وتنتشر هذه العملية سريعا فى اللب فيما يسمى « وميض الهليوم » ، وقد لا تستغرق عملية حرق الهليوم غير دقائق قليلة ، وهى عملية لا نراها أبدا حيث تتم فى أعماق داخل النجم .

(٥) يقل نصف قطر النجم ولمعانه قليلا ويستمر احتراق الهيدروجين فى الغلاف بالإضافة لاحتراق الهليوم فى اللب .

(٦) يتحول اللب إلى كربون وتتوقف التفاعلات فيه لكنها تستمر فى غلاف يحيط به مما يؤدى لتمدد النجم ليتحول مرة أخرى لعملاق أحمر . ويؤدى استمرار احتراق الهليوم فى الغلاف لأن يصبح النجم غير مستقر فتحدث انفجارات نووية فيما يسمى « دفعات حرارية » تتكرر كل عدة آلاف من السنين وترتفع معها نورانية النجم وتهبط سريعا حوالى ٥٠ ٪ فى كل مرة (أى خلال سنوات أو عشرات قليلة من السنين) ، وتبدأ تيارات الحمل فى نقل العناصر الثقيلة للخارج فى كل انفجار .





(٧) يشتد انبعاث المادة للخارج فيتحول النجم إلى لب ساخن بالداخل محاطا بغلاف خارجى يتمدد بتأثير الحرارة الآتية من اللب ، ويسمى هذا الغلاف « سديم كوكبى » (شكل ٣) .

(٨) يتخلص النجم من سديمه الكوكبى بالتدريج في خلال آلاف قليلة إلى مئات قليلة من آلاف السنين . ويتحول اللب إلى قزم أبيض يتكون أساسا من الكربون ، ويحدث ذلك خلال ما يقارب ٧٥٠٠٠ سنة . وهذه هى المرحلة بين نقطتى ٨ ، ٩ فى شك (٢) . والكتلة المتبقية لا تسمح بتفاعلات نووية يحترق فيها الكربون .

نهاية الأرض : يتوقع أن تصل الشمس فى تمددها حتى حوالى ١,١ و.ن لتدور الأرض داخل جوها فينشق هواؤها ويتبخر وشاحها ، كما يؤدى احتكاكها بمادة جو الشمس لانكماش مدارها فتسقط فى لب الشمس خلال أقل من ٢٠٠ سنة لتتبخر بالكامل ، لحظتها لا تكون هناك أرض . وسبحان الله عز وجل حين



يقول فى كتابه الكريم ﴿ فَإِذَا بَرِقَ الْبَصَرُ وَخَسَفَ الْقَمَرُ وَجُمِعَ الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ ﴾ (القيامة ٧ ، ٨ ، ٩) .

(ج) النجوم الثقيلة :

تسمح كتلة تلك النجوم ببدء تفاعلات نووية تتكون فيها عناصر ثقيلة ، ولذلك يلعب ضغط الارتفاع دورا أكبر فى تطورها ، ويمكن إيجاز تطورها بصورة عامة كما يلى :

(١) يحترق الهيدروجين على التتابع الرئيسى بدورة CNO (كربون - نيتروجين - أكسجين) .

(٢) عمرها على التتابع الرئيسى أقصر .

(٣) تشعل حرارتها المرتفعة التفاعلات النووية فى الكربون والعناصر الأثقل.

(٤) لا يتحول اللب الغنى فى الهليوم لحالة التحلل .

(٥) تنتقل الطاقة بداخلها أساسا بالحمل وليس بالإشعاع .

ويحدث هذا التطور حوالى مائة مرة أسرع من تلك المساوية للشمس فى كتلتها.

ويوضح جدول (٢) مراحل التطور للنجوم من الكتل المختلفة ، بينما يوضح جدول (٣) مراحل التفاعلات النووية الحرارية .

جدول [٢] مقارنة مراحل تطور النجوم للكتل المختلفة

الكتلة	مراحل التطور
صغيرة (< كتلة الشمس)	التتابع الرئيسى ← عملاق أحمر ← سديم كوكبى ← قزم أبيض ← قزم أسود (لا يشع)
متوسطة (≈ ٥ - ١٠ كتلة شمسية)	التتابع الرئيسى ← عملاق أحمر ← سديم كوكبى أو سوبر نوفا (نجم فوق براق)
عالية (> ٢٠ كتلة شمسية)	التتابع الرئيسى ← عملاق فائق ← سوبر نوفا (نجم فوق براق)

جدول [٣] مراحل توليد الطاقة النووية الحرارية فى النجوم

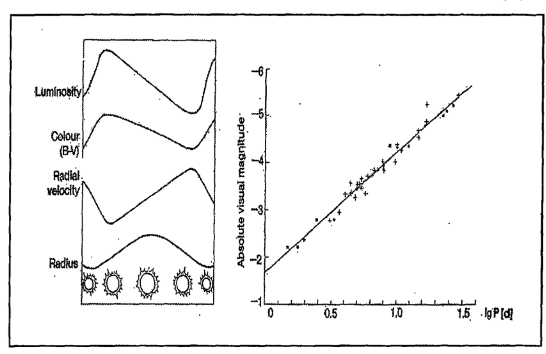
العملية	الوقود	النواتج الرئيسية	درجة الحرارة التقريبية (K)	الكتلة الصغرى التقريبية (كتلة شمسية)
حرق الهيدروجين	الهيدروجين	الهليوم	2×10^{7}	٠,١
حرق الهليوم	الهليوم	الكربون والأكسجين	2×10^{8}	١
حرق الكربون	الكربون	الأكسجين والنيون والصوديوم والماغنسيوم	8×10^{8}	١,٤
حرق النيون	النيون	الأكسجين والماغنسيوم	$1,5 \times 10^{9}$	٥
حرق الأكسجين	الأكسجين	ماغنسيوم إلى كبريت	2×10^{9}	١٠
حرق السليكون	ماغنسيوم إلى كبريت	عناصر قريبة من الحديد	5×10^{9}	٢٠

٩-٤ النجوم المتغيرة :

تسمى النجوم التى يتغير قدرها نجوما متغيرة . فى هذه النجوم تتمدد وتنكمش طبقاتها الخارجية فيتغير دوريا كل من حجمها ودرجة لمعانها ودرجة حرارتها . وأنواع هذه النجوم كثيرة من أشهرها :

(i) **المتغيرات القيفاوية** (Cepheids) : نجوم صفراء كبيرة الحجم يصل لمعانها إلى ١٠ آلاف مرة مثل الشمس ويعرف منها فى مجرتنا حوالى ٧٠٠ نجم. وهى نجوم شابة وتوجد فى الحشود المفتوحة . ويتراوح القدر المطلق لهذه النجوم بين - ١,٥ و - ٥ ، أما دورات تغيرها فتتراوح بين ٣ إلى ٥٠ يوما، وتوجد علاقة بين دورة تغير هذه النجوم وقدرها المطلق (شكل ٤) . وتساعد هذه العلاقة فى تعيين أبعاد هذه النجوم حيث يتم رصد دورة تغيرها وقدرها الظاهرى . ثم من الشكل نحصل على قدرها المطلق ، ثم باستخدام القدرين المطلق والظاهرى يحسب بعدها .





شكل (٤) أ- علاقة القدر المطلق للمتغيرات القيفاوية ودورة تغيرها
ب- تغير النورانية واللون والحجم خلال بعض المتغيرات القيفاوية

(ii) **نجوم RR ليرا** : (القيثارة أو النسر الواقع) . نجوم هرمة يعرف الآلاف منها فى مجرتنا ، وتوجد كلها تقريبا فى نواة المجرة أو فى الحشود الكرية فلا يكاد يخلو منها حشد كرى . ودورات هذه النجوم أقل من اليوم ومعظمها يتراوح بين ٠,٣ إلى ٠,٧ يوم .

٩-٥ النجوم المتفجرة :

هى نجوم استنفدت مخزونها من الوقود النووى الأساسى ، وأصبحت فى حالة من عدم الاتزان .

(i) **الأقزام البيض** : عندما تفقد النجوم المماثلة للشمس فى الكتلة (أقل من ١,٤ $M_\odot$) مخزونها من الوقود النووى الأساسى لا يكون أمامها لإنتاج الطاقة غير الانكماش (داخليا مع تمدد أغلفتها الخارجية لتكون عملاقا أحمر قلبه شديد الانضغاط ثم تنفجر الأغلفة الخارجية تاركة الجزء الداخلى) لتحرير مزيد من طاقة الوضع بها حتى تصل فى النهاية لنجم عظيم الكثافة تخلصت ذراته من

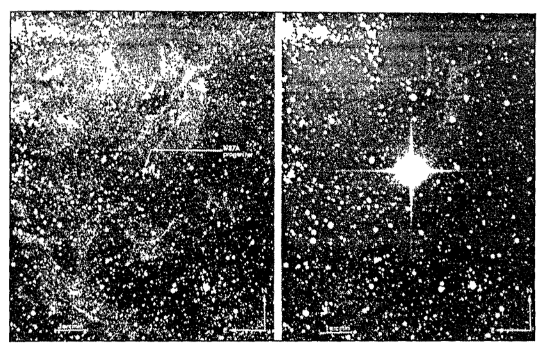
إلكتروناتها لتقارب كثافته كثافة مادة النواة حيث تصل إلى مليون مرة مثل الماء . مثل هذا النجم يسمى قزما أبيض . والقزم الأبيض نجم كثيف وليس متفجرا ، لكنا سنناقشه فى البدء لدوره مع النجوم المتفجرة كما سيتضح مع السوبر نوفا .

(ii) **النجوم البراقة (نوفا)** : بينما تموت الأقزام البيض المعزولة فى سكون حيث تتحول إلى قزم أسود ، فإن تلك التى يصاحبها نجم آخر تجذب إليها الانتباه بتحولها إلى نوفا . والنوفا نجم موجود أصلا يبعث فجأة بدفعة من الضوء قد تجعله مرئيا بالعين المجردة ، ويستمر كذلك لعدة أيام أو أسابيع ثم يخبو تدريجيا . تحدث هذه الظاهرة فى النجوم المزدوجة المتقاربة التى يكون أحدها قزما أبيض ، ويحدث الانبعاث بالانتقال المادة من النجم العادى إلى القزم الأبيض، ويسهل من هذه العملية أن يكون النجم الآخر فى حالة تمدد ليتحول إلى عملاق أحمر .

(iii) **النجوم فوق البراقة (سوبر نوفا)** : النجوم التى تبدأ تطورها بكتلة أكبر ١٢ كتلة شمسية تبنى بداخلها قرب آخر مراحل تطورها قزما أبيض تحمُيه الإلكترونات الحرة من مزيد من الانكماش ، ومع استمرار التفاعلات النووية حول اللب تترسب عليه نواتج التفاعل فتزداد كتلته . تصل كتلة اللب لحد تزيد معه الجاذبية لدرجة تجعل الإلكترونات الحرة تندمج مع البروتونات مكونة نيوترونات، وبذلك يزول عامل حماية اللب من الانكماش .

ينكمش اللب فجأة وفى فترة أقل من الثانية ينقص حجمه من حجم يساوى حجم الأرض تقريبا إلى أقل من ١٠٠كم ، وقد تصل سرعة تساقط المادة على اللب إلى ربع سرعة الضوء . يتوقف الانكماش فقط حين تصل كثافة اللب لما يساوى كثافة مادة النواة متحولا بذلك إلى نواة كبيرة .

نتيجة التوقف الفجائى للانكماش تتولد موجات فى جميع أنحاء المادة الخارجية للنجم يتخلص بواسطتها من تلك المادة فى انفجار هائل (شكل ٥) . ويصل اللمعان الذى يحدثه الانفجار إلى ما يعادل ١٠ بليون مرة مثل لمعان الشمس ، أى ١٠٠ ألف مرة مثل انفجار النوفا .



شكل [٥] سوبر نوفا 1987A في سحابة ماجلان الكبرى قبل وبعد الانفجار

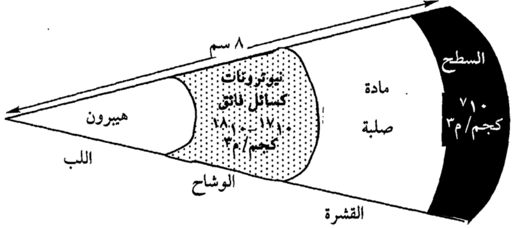
٩-٦ النجوم الكثيفة :

(i) الأقزام البيض .

(ii) النجوم النيوترونية : النجم النيوترونى نجم صغـير جدا وعالى الكثافة بدرجة كبيرة ، وفى مرحلة متأخرة من تطوره ، وقد عانى من انهيار تثاقلى شديد أدى لاندماج إلكتروناته وبروتوناته لتكون نيوترنات . وقطر النجوم النيوترونية ١٠ - ٢٠كم فقط أما كثافته فحوالى $١٠^{١٣}$ إلى $١٠^{١٥}$ جم / سم٣ (أى ١٠ مليون مليون إلى ألف مليـون مليون جم / سم٣) . ودرجة حرارة باطـن هذه النجوم ألف مليون درجة مطلقة .

وللنجوم الـنيوترونية مجـال مغناطيسى شـديد يصل لحوالى مليـون مليون أوستد. ويرجع اقتراح وجود مثل هذه النجوم إلى الثلاثينيات على أنها تمثل اللب المتبقى من السوبر نوفا بعد التخلص من معظم مادتها خلال الانفجار ، ففى هذه الحالة إذا كانت كتلة اللب أكبر من حد شاندراسيكر (١,٤ كتلة شمسية) يستمر الانكماش ليتكون نجم نيوترونى .

وعلى عكس النجـوم العادية يوجد للنجـوم النيوترونية سطح صـلب محدد جيدا، يعلوه غلاف جوى سـمكه سنتيمترات قليلة ، والقشرة العليـا معدنية صلبة تزداد كثافتها سريعا لـلداخل ومعظم النجم سائل فائق (Super fluid) ، بينما قرب المركـز حيث تتعدى الكثـافة ١٠ ١٨ كجم / م٣ قد يوجد نـواة صلبة من جسيمات أثقل (هيبرونز hyperons) .



شكل (٦) تركيب النجم النيوتروني . القشرة من مادة صلبة جامدة والوشاح من سائل فائق حر الانسياب .

ورغم توقع وجود النجوم النيوترونية فى الثـلاثينيات فإنها لم تكتشف حتى الستينيات حين اكتشفت النجوم النابضة وتم التعرف عليها كنجوم نيوترونية ثم فى السبـعينيات حـين رصدت كذلك كنابـضات أشعة سـينية (X-ray pulsars) ومفجرات أشعة سينية (X-ray bursters) .

(iii) **النجوم النابضة**(Pulsars) : لوحظ وجود هذه النـجوم لأول مرة فى أغـسطس سـنة ١٩٦٧ . ويتـمـيز الـنجم النـابض بانـبعـاث نبـضـات إشعـاع كهرومغـناطيسى فى المنطقة الـراديوية فى صورة نبضات شـديدة الانتظام . وكان أول ما اكتشف منها يبعث بالنبضات كل ١,٣٣٧٣٠١١٣ ثانية . ومن المعتقد أن النجوم النابضـة نجوم نيوترونية تدور حول نفـسها بسرعة كبيـرة . ومن الصعوبة بمكان رصد النجوم النيوترونية فى المنطقة المرئية حيث إن نورانيتها حوالى ١٠^-٦ من نورانية الشمس، وقد رصد النجم النابض « فيلا Vela » عند قـدر مرئى حوالى ٢٥ ممـا يجعلها من بين أكثـر الأجسام التى تم رصدها خـفوتا ، أما فى المنطقة الراديوية فالنجوم النابضة من المصادر القوية جدا .

ويمكن تفسير النبضات الراديوية إذا كان المجال المغناطيسى يميل بزاوية ٤٥ْ–٩٠ْ على محور دوران النجم .

وتتناقص كمية الحركة الزاوية للنجوم النيوترونية باضطراد كنتيجة لما تبعث به من إشعاع كهرومغناطيسى وجسيمات النيوترون وجسيمات الأشعة الكونية ، وربما إشعاع تثاقلى (Gravitational radiation) . وبالتالى تزداد باضطراد دورات النجوم النابضة. بالإضافة لذلك رصدت قفزات فجائية فى هذه الدورات ، مما قد يكون مؤشرا لوجود تحركات سريعة للمادة فى قشرة النجم النيوترونى (أى زلازل نجمية) أو فى الوسط المحيط .

وقد تم رصد قليل من النجوم النابضة فى نظم ثنائية قد يكون النجم الآخر فيها نجما نيوترونيا ، وكان أولها (PSR (1913 + 16 فى سنة ١٩٧٤ ، وكان الاختلاف المركزى للمدار ٦, ودورته ٨ ساعات . وقد وفر هذا النظام أول دليل قوى على وجود موجات التثاقل (موجات تحمل الجذب التثاقلى مشابهة للموجات الكهرومغناطيسية) . فخلال فترة الرصد نقصت الدورة المدارية باضطراد ، مما يعنى أن النظام يفقد طاقة مدارية تم حسابها فوجدت مطابقة تماما للمتوقع تبعا لنظرية النسبية العامة ، والتى تفسر فقد هذه الطاقة بأنها انبعثت فى صورة إشعاع تثاقلى .

بالإضافة للنجوم النابضة الراديوية اكتشفت فى السبعينيات نجوم نابضة فى حيز الأشعة السينية (نابضات الأشعة السينية) وهى تنتمى دائما لنظم ثنائية، وكذلك مفجرات الأشعة السينية وهى نجوم متغيرة غير منتظمة الدورة ويعتقد أنها توجد فى نظم ثنائية مثل نظام القزم الأبيض والنوفا ، لكن مع إحلال نجم نيوترونى بدلا من القزم الأبيض .

(iv) **الثقوب السوداء** (Black holes) : يوجد حدان للكتلة ، أولهما : حد شاندرا سيكر Md (١,٢ – ١,٤ كتلة شمسية) الذى تنكمش النجوم الأقل منه فى الكتلة بعد نفاد مخزونها من الوقود النووى لتصل لمرحلة القزم الأبيض ثم تستمر فى الانكماش لتصل لمرحلة الاستقرار عند درجة حرارة صفر بمادة تامة



التحلل فيما يسمى بالقزم الأسود . والحد الآخر : هو حد أوبتهيمر - فولكوف Mov (١,٥ - ٢ كتلة شمسية) . والنجم بين الحدين يستمر فى الانكماش حتى يصل لمرحلة الاستقرار فى صورة نجم نيوترونى . فإذا زادت كتلة النجم عن Mov يستمر الانكماش حتى يتخطى مرحلة النجم النيوترونى ليكون ثقبا أسود .

والثقب الأسود يسمى أسود لأنه حتى الضوء لا يستطيع الهروب منه . وقد أوضح لابلاس فى نهاية القرن الثامن عشر أن الجسم الثقيل بدرجة كافية يمكنه منع هروب الضوء من سطحه . وطبقا لميكانيكا نيوتن تعطى سرعة الهروب من جسم كتلة M ونصف قطره R بالعلاقة

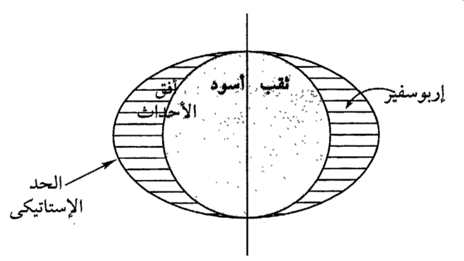
$$V_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \qquad (5)$$

وهذه السرعة تتخطى سرعة الضوء إذا كان C أقل من نصف القطر الحرج

$$R_c = 2GM / C^2 \qquad (6)$$

وتعطى نظرية النسبية نفس القيمة لنصف القطر الحرج المسماة « بنصف قطر شوارزشيلد » وهو للشمس حوالى ٣ كم ولكن الشمس لصغر كتلتها لا يمكن أن تصبح ثقبا أسود عن طريق التطور الطبيعى للنجوم . وباعتبار Mov الحد الأدنى لكتلة النجم الذى يمكن أن يتطور إلى ثقب أسود يكون نصف قطر أصغر ثقب أسود يمكن أن يتكون بهذه الطريقة ٥ - ١٠ كم :

ولا يمكن تفسير ظاهرة الثقب الأسود وخواصه خارج نطاق النسبية العامة . والنسبية العامة تستعير مفهوم الأفق ، وحجبه لما تحته من أجسام ، لتعريف ما يسمى أفق الأحداث (event horizon) وهو سطح لا يمكن إرسال معلومات للخارج من خلاله . ويحيط بالثقب الأسود بأفق أحداث عند نصف قطر شوارزشيلد .



شكل (٧) الثقب الأسود يحيطه أفق أحداث كروى . بالإضافة لذلك يحيط بالثقب الأسود الذى يدور حول نفسه سطح منبعج لا يمكن للمادة بداخله أن تظل ساكنة . يسمى هذا السطح الإربوسفير .

وقوى المد بالقرب من الثقب الأسود كبيرة لدرجة تجعل أى مادة تسقط تجاهه تتمزق إربا . بينما تتحطم كل الذرات والجسيمات الأولية بالقرب من مركزه ولا يعرف كنه حالة المادة للفيزياء حتى الآن . وما يمكن رصده من خصائص الثقب الأسود لا يعتمد على وسيلة تكونه . كذلك يختفى أى مجال مغناطيسى خلف أفق الأحداث ، فثلاث خصائص فقط هى التى يمكن رصدها للثقب الأسود ، تلك هى الكتلة وكمية الحركة الزاوية والشحنة الكهربية .

والوسيلة الوحيدة المعروفة حاليا لرصد الثقب الأسود بصورة مباشرة هى بواسطة الإشعاع من الغازات الساقطة عليه . فعلى سبيل المثال لو كان الثقب الأسود عضواً فى نظام ثنائى فإن المادة المنسابة من النجم الآخر تستقر فى قرص يحيط بالثقب ، ثم تتساقط المادة الموجودة فى حافة القرص الداخلية فى الثقب الأسود . وهذه المادة المتساقطة ستشع قدرا ضخما من الطاقة تصل إلى ٤٠ ٪ من الكتلة المتبقية فى صورة إشعاع يمكن رصده فى صورة أشعة X .

٩-٧ وسط ما بين النجوم :

ليس ما بين النجوم ولا ما بين المجرات وحشودها خواء ، بل يوجد غاز كما يوجد غبار ، سواء بتوزيع منتظم أو متجمعا فى سحب بين نجمية . ويتكون هذا الوسط أساسا من الهيدروجين مع قليل من الهليوم ونسبة قليلة جدا من

العناصر الثقيلة والأتربة . ويميل هذا الوسط أكثر للتجمع فى صورة سحب مع وجود غاز قليل جدا فيما بينها . وتوجد الذرات متعادلة ومتأينة كما توجد إلكترونات حرة وجزيئات .

والغاز النجمى فى متوسطه (بعيدا عن السحب) مخلخل جدا حتى أن المسافة بين الذرات تبلغ تقريبا ١٠٠ مليون مرة مثل الذرات نفسها . ويستدل على وجود السحب باحمرار ضوء النجوم بالامتصاص حين يمر من خلالها ، وقد سبق ذلك فى الفصل الرابع .

وأقطار الحبيبات فى الأتربة بين النجمية حوالى ١٠^-٦ إلى ١٠^-٥ سم . وتسبح الأشعة الكونية المنطلقة من النجوم فى أحوالها العادية أو المتفجرة ، فى هذا الوسط وهى تلعب دورا كبيرا فى العوامل الفيزيائية والكيميائية للسحب . وتتخلل السحب بين النجمية الكتل الكبيرة داخل المجرة ، وخاصة فى أطراف أذرعها .

ومن أهم مظاهر هذا الوسط إشعاع الخلفية الكونية المناظر لطيف الجسم الأسود عند درجة حرارة ٢,٧ k° عند الطول الموجى ٢١ سم . هذا الإشعاع يجوب كل أرجاء الكون بما يوحى بأنه بقية الكرة الأولية التى تكون منها الكون ، ووجود هذا الإشعاع دعم نظرية الانفجار العظيم لتفسير نشأة الكون دعما كبيرا .

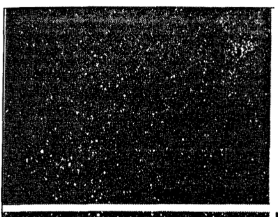
٩-٨ حشود وتجمعات النجوم :

هى تجمعات من النجوم تتماسك بواسطة الجذب المتبادل بينها وهى عادة متقاربة فى العمر والخواص . ويتراوح نصف قطر الحشد بين ١٠^٨ إلى ١٠^١٠ مثل نصف قطر الشمس ، وتوجد ثلاثة أنواع من الحشود : مفتوحة وكرية وائتلافية .

(i) الحشود المفتوحة (أو المجرية) Open clusters :

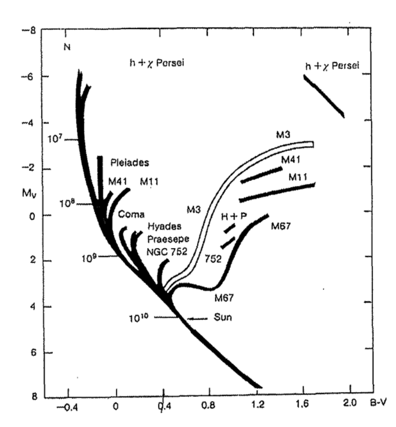
حجم الحشد عشرات قليلة من السنين الضوئية المكعبة ، وقد رصد منها عدة آلاف ، ويعتقد وجود ٢٠ ألف حشد فى المجرة . وكل حشد يحتوى على أقل من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ نجم (شكل ٨) وكثافة النجوم حوالى نجم واحد لكل ١٠ سنين ضوئية مكعبة . وهذه الحشود توجد فى قرص المجرة ونجومها يافعة تحتوى على ١ ٪ إلى ٤ ٪ عناصر ثقيلة .





شكل (٨) الحشود المفتوحة (أ) القلائص (Heades) يسار أسفل الصورة ، والثريا (Plyades) أعلاها إلى اليمين ، وفرساى (Persei) أعلى اليسار ، (ب) الثريا ، (جـ) الميزان .





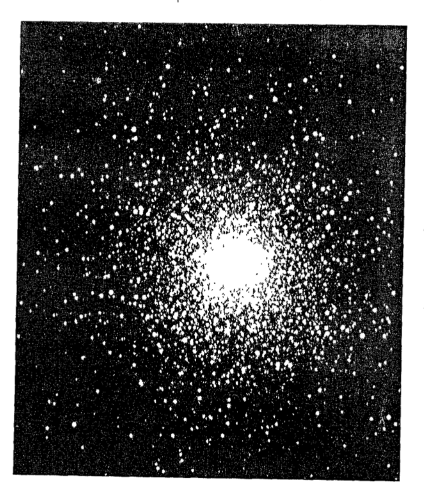
Sandage, A . (1956) : Pub. Astron . soc . Pac . 68 , 498

شكل (٩) شكل H - R للحشود النجمية ، M3 حشد كرى والبقية حشود مفتوحة وأعمار الحشود موضحة على التتابع الرئيسى . ويمكن قراءة عمر الحشد من النقطة التى تستدير نجوم الحشد عندها مبتعدة عن التتابع الرئيسى .

وبسبب قلة كثافة النجوم فى الحشد يمكن أن تهرب البعيدة منها . ويوضح شكل (٩) موقع الحشود المفتوحة على شكل H-R ، ومنه نرى أن النجوم أبرد من ١٠ آلاف درجة مطلقة (Ao) تقع على التتابع الرئيسى ، بينما تقع الأسخن من ١٠ آلاف k فوقه وإلى اليمين . والنجوم التى تحيد عن التتابع الرئيسى هى تلك ذات الكتل الكبيرة أو تلك التى قطعت شوطا فى تطورها .

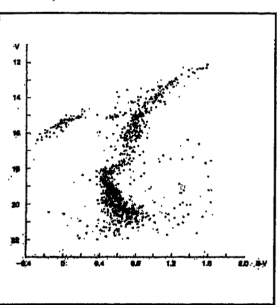
(ii) الحشود الكرية : (شكل ١٠)

تأخذ هذه الحشود شكلا كرويا ، قد ينبعج بعض الشىء فى قليل منها . وكثافة النجوم فى هذه الحشود عالية حتى أن قطر الحشد قد يقل عن ١٠٠ سنة ضوئية ومع ذلك يحتوى مليون نجم . وتحتوى الحشود على نجوم R R ليرا ، وبعضها يحتوى على نجوم R V تاورى ومتغيرات قبفاوية . وسرعة حركة نجوم الحشد حول مركزه عالية وتتبع مدارات شديدة الاستطالة ، وبذلك تقطع قرص المجرة مرتين أثناء حركتها ، لكن احتمال حدوث تصادم يكاد يكون غير وارد .

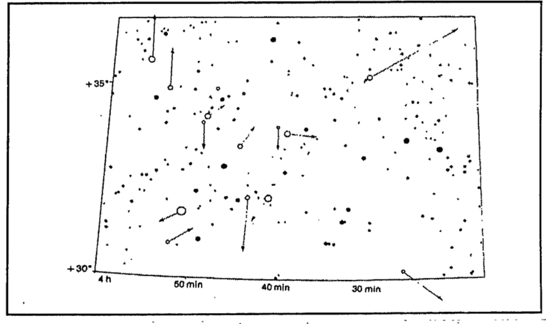


شكل (١٠) الحشد الكرى M13 فى الجاثى (Hercules) ويبعد حوالى ٢٢٠٠٠ سنة

وتحتوى نجوم الحشود الكرية على (٠١ , ٠ – ١ , ٠) ٪ فقط من العناصر الثقيلة ، وهذا يعنى أنها نجوم هرمة . وهذه الحشود مستقرة لكثافة النجوم العالية بها وخاصة عند مركزها . ويوضح شكل (٩) وشكل (١١) توزيع الحشود الكرية فى شكل H - R حيث تقع النجوم أقل من كتلة الشمس على الجزء السفلى من التتابع الرئيسى ، أما الفرع الأفقى فيبين تلك النجوم التى تقل المعادن فيها عن الشمس والنجوم الواقعة يساره هى تلك ذات الكتل الأصغر .



شكل (١١) شكل H - R للحشد الكرى Ms .إضافة للتابع الرئيسى يمكن أن ترى فرع العمالقة المنحنى لليمين وإلى اليسار منه الفرع الأفقى .



شكل (١٢) الحشد الائتلافى فى فرساى (Persei) وترى نجوم الصنفين O و B كدوائر مفتوحة . أما الأسهم فتوضح الحركة خلال ٥٠٠ ألف سنة .

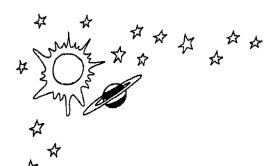


(iii) **الحشود الائتلافية : (شكل ١٢)**

هى مجمـوعات من النجوم الحـديثة جدا تتناثر عـلى مساحات كبـيرة بدرجة تجعل من الصـعب التعرف عليها بمـجرد النظر، ويحتوى الحشـد على عشرات قليلة من النجوم ويوجد أحدها حول النجم زيتا فرساى (ζ Persei) وفى منطقة الجبار ، كما يوجد العديد غيـرها وتبعا للصنف يقال ائتلاف O B أو ائتلاف T تاورى ، وحيث إن أثقل نجوم الصنف O تمكث على التتابع الرئيسى فقط ملايين قليلة من السنين فإن الائتـلافات التى تحتويها لابد وأن تكون صغـيرة العمر . أما نجوم t تاورى فهى أصغر ومـا تزال فى مرحلة الانكماش تجاه التـتابع الرئيسى . وقلة عدد النجوم فى الائتلاف لا تتيح ترابطا فيما بينها ليظل الائتلاف متماسكا ؛ ولذا فهى تـتحرك متبـاعدة بسرعة . وقـد أيدت أرصاد حركة نـجوم أى من هذه الائتلافات كانت أقرب لبعضها كثيرا منذ قليل من ملايين السنين .

ويتداخل مع نـجوم الائتلاف غالبـا كميات كبـيرة من مادة ما بين الـنجوم فى صورة غاز وغبار وسدم مما يوفر معلومات عن علاقة تكوين النجوم بوسط ما بين النجوم . وقد أوضحت الأرصاد فى المنطقة تحت الحمراء أن نجوما تتكون الآن فى كثير من سحب ما بين النجوم الكثيفة .

وتتركز الائتلافات بقوة فى الأذرع اللولبية فى مستوى الطريق اللبنى ، حيث تم التعرف على ثلاثة أجيال منها فى منطقة الجبار وفى اتجاه قيفاوس .



الفصل العاشر

عالم المجرات

في هذا الفصل نوجز معلومات أساسية عن مجرتنا - الطريق اللبنى - ثم نستدير فى مرحلة أبعد إلى أعماق الكون نستجلى فيها بعضا من ملامح لبناته وهى المجرات ونظمها .

١٠ - ١ الطريق اللبنى :

إذا نظرنا للسماء فى ليلة صافية غير مقمرة نشاهد شريطا سديميا يمتد عبر السماء محيطا بالكرة السماوية (شكل ١) ، وقد حاول « وليام هرشل » فى القرن الثامن عشر تعيين شكل وحجم الطريق اللبنى بعد النجوم ، لكن الفلكى الهولندى « كابيان » كان أول من تمكن من تعيين هذا الحجم ، وكان ذلك فى بداية القرن العشرين . أما الحجم الحقيقى للطريق اللبنى وموقع الشمس فيه فقد عرفا فى العشرينيات من القرن العشرين عن طريق دراسات أجراها الفلكى « هارلو شابلى » عن توزيع الحشود الكرية .

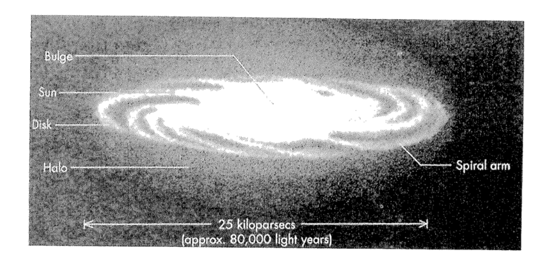


شكل (١) الطريق اللبنى

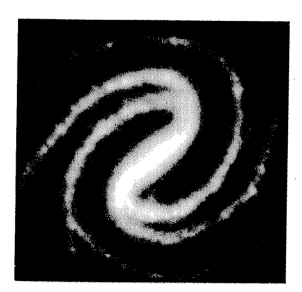
حجم الطريق اللبنى وشكله العام : دراسة الشكل العام للمجرة ليس فقط هدفا فى حد ذاته ، إنما يساعد فى دراسة ماضى المجرة ومستقبلها ، ونموذج



المجرة المعروف لنا حاليا جيد بدرجة طيبة . تتكون المجرة من ٣ أجزاء أساسية : الانبعاج المركزى والقرص والهالة (شكل ٢) .



أ



ب

شكل (٢) مجرة الطريق اللبنى . (أ) صورة جانبية توضح الانبعاج المركزى والقرص .
(ب) رسم توضيحى يوضح الملامح الأساسية للطريق اللبنى . تقع الشمس فى القرص حوالى ٣٠ ألف سنة ضوئية من المركز على الحافة الداخلية لأحدالأذرع اللولبية . وفى الشكل حشد كرى من بين عالم تلك الحشود المميزة لهالة المجرة والانبعاج المركزى يحيط بلب المجرة .

والقرص يمثل الجزء الرئيسى للمجرة يمتد بقطر حوالى ١٢٠ ألف سنة ضوئية وسمك حوالى ١٠٠٠ سنة ضوئية ويتكون من ٢ - ٤ أذرع لولبية ، ويحتوى القرص نجوما من الفصيلة I غنية بالمعادن (١ - ٤ ٪) وسحب من الغاز والغبار ، وتمتد الغازات أبعد من النجوم . وتقع الشمس أعلى القرص بقليل على بعد حوالى ٣٠٠٠٠ سنة ضوئية من مركز المجرة .

أما الانبعاج المركزى ، فيغلف الأجزاء الداخلية للمجرة ومن بينها نواتها التى يلفها الغموض وهى القلب الداخلى منها . وقطر الانبعاج حوالى ١٢٠٠٠ سنة ضوئية بينما سمكه حوالى ١٠٠٠٠ سنة . والانبعاج يحتوى على النجوم المسنة الفقيرة فى المعادن من الفصيلة I . وتحيط الهالة الكروية بالانبعاج المركزى والقرص ، وتمثل الحشود الكرية من نجوم الفصيلة II (سيرد تعريفها) معظم المادة المرئية من الهالة التى يمتد قطرها لأكثر من ١٢٠ ألف سنة ضوئية .

وقد قدرت كتلة المجرة (من دراسة حركة النجوم حول مركزها واستخدام قانون كبلر الثالث) بحوالى مليون مليون كتلة شمسية ، أما عمرها فيناهز ١٥ ألف مليون سنة وهو عمر أقدم النجوم فى هالتها .

مثال :

إذا كانت الشمس تدور حول مركز المجرة على بعد ٣٠ ألف سنة ضوئية بسرعة ٢٢٠ كم / ث . احسب كتلة المجرة .

الحل :

إذا كانت M_1 كتلة المجرة ، M_2 كتلة الشمس ، ودورة الشمس حول مركز المجرة P على بعد R (بفرض أنها تتحرك فى دائرة) ، يمكن كتابة قانون كبلر الثالث على الصورة .

$$M_1 + M_2 = \frac{R^3}{P^2} \qquad (1)$$

حيث R مقيسة بالوحدات الفلكية و P بالسنين ، من الأرقام المعطاة .

$R = 30000\ LY$ (سنة ضوئية)

$= 30000 \times 6.32 \times 10^4 = 1.9 \times 10^9\ A.U.$ (وحدة فلكية)



$$P = \frac{2\Pi R}{V} = \frac{(2 \times 3.14)(1.9 \times 10^9)(150 \times 10^6)}{220} \left(\frac{1}{3600 \times 24 \times 365.2422} \right)$$

$$= 2.6 \times 10^8 \text{ yr}$$

فيكون

$$M1 + M2 = \frac{(109)^3}{(2.6)^2} \times 10^{11} = 1 \times 10^{11}$$

فإذا كانت $M_2 = 1$ تكون كتلة المجرة ١٠ ^١١^ كتلة شمسية .

وترصد الأذرع اللولبية فى المنطقة المرئية بواسطة القبفاويات ومناطق H II (الهيدروجين المتأين) والنجوم من الصنفين O و B . أما فى المنطقة الراديوية فتستخدم سحب الهيدروجين (H I) والسحب الجزيئية . وفى جميع الحالات تكون المشكلة الأساسية فى تعيين المسافات .

والمجرة تدور حول محورها دورانا تفاضليا حيث تتبع النجوم القريبة من مركز المجرة فى حركتها قوانين الحركة المدارية (مثل قوانين كبلر) وأن تباين تطابق الحركة مع هذه القوانين . أما على الأبعاد الكبيرة من مركز المجرة فتفشل قوانين كبلر فى وصف الحركة ، وهذا يحدث مع الشمس مما يشير إلى أن جزءا كبيرا من كتلة المجرة يقع أبعد من الشمس ولم يمكن رصده بعد بصورة مباشرة ؛ ولذلك يسمى بالمادة المعتمة . وتقع الشمس على الحرف الداخلى لأحد الأذرع اللولبية على بعد حوالى ٣٠٠٠٠ سنة ضوئية من المركز بسرعة ٢٢٠ كم / ث وبذلك فهى قد أكملت حتى الآن حوالى ٢٠ دورة حول مركز المجرة .

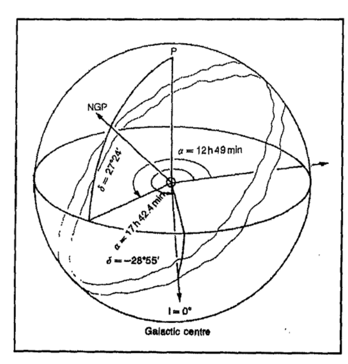
ويفسر بقاء التركيب اللولبى للمجرة بما يسمى نموذج الكثافة الموجى وفيه تسرى فى قرص المجرة موجات كثافة لولبية (تشبه موجات الصوت) فتدفع مادته للتكثف فى هذه الصورة .

وتبعث نواة المجرة بإشعاع كثيف فى المناطق الراديوية وتحت الحمراء وبها نجوم عمالقة من الصنف M ونجوم شابة ثقيلة ، وأتربة وغازات تدور بسرعات كبيرة . وتفسير حركة الغازات يتطلب تركيز ملايين الكتل الشمسية من المادة فى منطقة داخلية لا تزيد عن قليل من السنين الضوئية ، مما قد يكوّن ثقبا أسود فائق الكتلة . وهناك مؤشرات على ارتفاع كبير لدرجة حرارة منطقة النواة .

ويعتقد أن المـجرة تكونت منذ ١٥ ألف مليون سنة من الانكمـاش التثاقلى لسحابة ضـخمة من الغازات والتراب وتدور بـبطء حول نفسها ، فتـكونت الهالة أولا ثم تكون بعدها القرص ، وهذا التسلسـل يتضح من توزيع أعمار النجوم فى كل منها .

الإحداثيات المجرية :

تتطلب دراسة تـركيب الطريق اللبنى اخـتيار نظام إحداثيات كـروية مناسب يكون مستواه الأساسـى هو مستوى تماثل المجرة وهذا يعرف بأنـه مستوى تماثل توزيع الهيدروجين المتعادل وهو يتوافق تـماما مع مستوى تماثل توزيع النجوم فى مدار الشمس (فى حيز قليل من السنوات الضوئية) .



شكل (٣) نظام الإحداثيات المجرية

وقد اختير الاتجـاه الأساسى مشيرا لمركزالطريق اللبنـى وهو يقع فى كوكبة القوس ($\alpha = 17^h , 42.4^m , \delta = -28^0 55'$ ، الحقبة 1950.0) على بعد حوالى ٨,٥ كيلوبارسك . ويقاس العرض المجرى من مستوى المجرة إلى قطبها من صفـر إلى + °٩٠ أو تجاه قطـبها الجنوبـى من صفر إلى – °٩٠ . أمـا الطول

المجرى فيقاس من اتجاه مركز المجرة ($l = o$) شرقا على امتداد مستوى المجرة .

طرق قياس المسافة ومقياس السكون المحلى :

(i) **اختلاف المنظر المثلثى** : تعتمد على قياس التغير فى الاتجاه مع دوران الأرض السنوى فى مدارها حول الشمس . وتعطى هذه الطريقة نتائج طيبة حتى بعد ٣٠ بارسك ، لكنها تفشل بعد ١٠٠ بارسك .

(ii) **حركة الشمس بالنسبة للنجوم المجاورة** : (مقياس السكون المحلى) تنعكس حركة الشمس بالنسبة للنجوم المجاورة فى حركة هذه النجوم الذاتية وسرعاتها القطرية . وتسمى النقطة التى تتجه لها حركة الشمس بالنسبة للنجوم «رأس الشمس » والنقطة المقابلة لها صنديد الرأس ، وتبدو النجوم القريبة من رأس الشمس مقتربة منها (سرعة قطرية سالبة) بينما تتصف تلك القريبة من صنديد الرأس بأعلى سرعة قطرية (موجبة) ، أما على الدائرة العظمى العمودية على خط حركة الشمس فتكون السرعة القطرية صفرا . ومقياس السكون المحلى نظام إحداثيات يعرف بحيث يكون متوسط سرعات النجوم المجاورة للشمس مضادا لسرعتها ، وبذلك يكون متوسط حركة النجوم بالنسبة له صفرا ، وبالنسبة لهذا النظام تكون حركة الشمس كالآتى :

الرأس تجاه $\alpha = 18\text{ h } 00\text{ m}\ ,\ \delta = +30^{o}$

سرعة الشمس $\upsilon_o = 19.7\text{ km / sec.}$

وتقع رأس الشمس فى كوكبة الجاثى .

وتعرف سرعة أى نجم بالنسبة لمقياس السكون المحلى « الحركة الشاذة » للنجم (Pecular motion) .

(iii) **اختلاف المنظر الإحصائى** : يستخدم فيه تغير اتجاه النجوم مع حركة الشمس الذاتية (ومعها مجموعتها) .

(iv) **اختلاف المنظر الفوتومترى** : وفيه تستخدم مباشرة العلاقة

$$m - M = 5 \log (r/lo\ pc) + A (r)$$

ويستخدم فيها نجوم توجد وسيلة أخرى لمعرفة قدرها المطلق مثل متغيرات قيفاوس .

فصائل النجوم :

أوضحت دراسات حركة النجوم فى الطريق اللبنى أن مدارات النجوم فى مستوى المجرة تقريبا دائرية ، وأن هذه النجوم عادة نجوم شابة لا تتجاوز أعمارها ملايين قليلة من السنين ، وهى كذلك تحتوى على كميات كبيرة نسبيا من العناصر الثقيلة (٢ ٪ إلى ٤ ٪) . وكذلك تتحرك المادة ما بين النجوم فى مستوى المجرة فى مدارات شبه دائرية . وقد صنفت النجوم الشابة ومادة ما بين النجوم تبعا لتركيبها الكيميائى وحركتها على أنها من الفصيلة I .

أما خارج مستوى الطريق اللبنى فتحيطه هالة شبه كربونية تمتد حوالى ٥٠ كيلو بارسك وقد تمتد أكثر ، وأقصى كثافة للنجوم توجد بالقرب من المركز وتنقص للخارج . وتحتوى الهالة على قليل جدا من المادة بين النجمية ، ونجومها مسنة تصل أعمارها إلى ١٥ ألف مليون سنة وهى فقيرة جدا فى محتواها من العناصر الثقيلة . كما أن مداراتها قد تكون شديدة الاستطالة وتتباعد عن مستوى المجرة ، والنجوم التى تتصف بهذه الصفات تسمى نجوم الفصيلة II ، وأوضح أمثلتها الحشود الكرية ونجوم RR ليرا و W فيرجينس .

وبالإضافة للفصيلتين I و II توجد متتابعة من الفصائل الوسيطة ، فهناك مثلا فصيلة القرص ومن أمثلتها الشمس ، وجدول (١١) يضم خصائص الفصائل المختلفة وتطور المجرة وتكون نجومها .

١٠ - ٢ تصنيف المجرات : (شكل ٦ ، شكل ٧)

تكون بعض المجرات عمالقة كما أن منها أقزام . وتصنف المجرات التى تبلغ من الحجم واللمعان ما يسمح برؤيتها فى السماء تبعا لأشكالها . وشكل (٤) يوضح الأقدار والأقطار للمجرات الخارجية التى يمكن رؤيتها ، ومنه نرى أن المجرات يمكن رؤيتها تقع فى شريط ضيق من الشكل . ومعظم التصنيفات التى وضعت للمجرات تتفق مع تلك التى وضعها ادموند هبل فى سنة ١٩٢٦ وشكل (٥) يوضح المتتابعة التى وضعها هبل نفسه فى سنة ١٩٣٦ .

والأصناف الرئيسية ثلاثة : إهليلجية وعدسية ولولبية . واللولبية تقسم بدورها إلى عادية وذات قضيب ، وبالإضافة لهذه الثلاثة هناك المجرات غير المنتظمة .

جدول (١) فصائل الطريق اللبنى

الخاصية	الهالة فصيلة II	فصيلة II الوسيطة	فصيلة القرص	فصيلة I القديمة	فصيلة I الشابة
أمثلتها	تحت الأقزام الحشود الكرية RR ليرا (الدورة > ٠,٤ يوم)	النجوم المتغيرة طويلة الدورة	السدم الكوكبية والنوفا والعمالقة الحمر اللامعة	نجوم A الأقزام Me القيفاويات الكلاسيكية	غاز وغبار والعمالقة الفائقة ونجوم T تاورى
العمر المتوسط (ألف مليون سنة)	١٢ - ١٧	١٠ - ١٥	٢ - ١٢	٠,١ - ٢	٠,١
البعد عن مستوى المجرة (بارسك)	٢٠٠٠	٧٠٠	٤٠٠	١٦٠	١٢٠
السرعة الرأسية (كم / ث)	٧٥	٢٥	١٨	١٠	٨
وفرة المعادن	٠,٠٠١	٠,٠٠٥	٠,٠١–٠,٠٥	٠,٠٢	٠,٠٣–٠,٠٤

وتقع المجرات الإهليلجية فى درجات من E_0 وحتى E_7 . فإذا كان a المحور الأكبر للمجرة و b المحور الأصغر يعرف صنفها بأنه E_m حيث

$$m = 10\left(1-\frac{b}{a}\right)$$

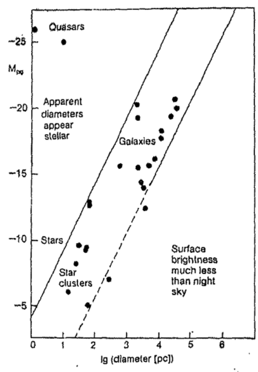
وبذلك تبدو صورة المجرة E_0 دائرية ، وفى الواقع يعتمد مظهر المجرة على الاتجاه الذى ترصد منه .

وقد أضيف لتصنيف هبل قسم من المجرات الإهليلجية العملاقة يرمز لها

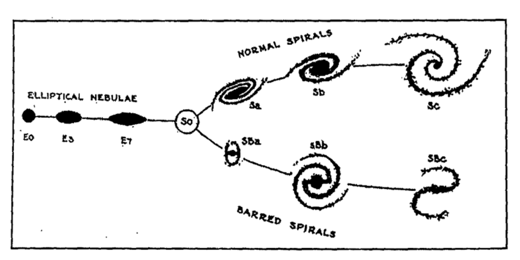
بالرمز cD وهى تتكون من جزء مركزى يشبه المجرات الإهليلجية العادية تحيط به هالة ضخمة خافتة من النجوم .

وتشبه المجرات اللولبية فى شكلها العـام الطريق اللبنى . ويوجد متتابعتين من اللولبيات : عادية sa - sb - sc وذات قضيب sBa - sBb - sBc. والصنف الثانى يحـتوى على قضيـب مركزى لا يوجد فى اللولبيات العادية .

ويحدد مـوقع المجرة فى تـتابع لولبى على أسـاس ثلاثة معاييـر ليست دائما علـى اتفاق : الأصناف المـتأخرة تتصـف بانبعـاج مركزى أصـغر وأذرع لولبية أضيق ونسق لولب مفتوح أكثر . ويظـن أن مجـرة الطـريق الـلبنـى من الصنف (بين sb و sc).



شكل (٤) أقـدار وأقطار ما يمكن رصـده من المـجرات الخارجـية . وما يـسهل رصده هو تـلك الواقعـة فقط داخل الشـريط الموضـح ، أما تلك الـتى إلى اليمـين فـقد قـلـت مساحة سـطحها الكـبيـرة من لمـعانها السطـحى حتى صارت أخفت من سـماء الليـل ، وتلك التى إلى اليسار وتبـدو فى صفر النجوم فلا تظهر فى الصور .



شكل (٥) متتابعة هبل

NGC 1201 Type S0

NGC 2841 Type Sb

NGC 2811 Type Sa

NGC 3031 M81 Type Sb

شكل (٦) تصنيف اللولبيات العادية والمجرات SO

NGC 2859 Type SB0

NGC 2523 Type SBb(r)

NGC 175 Type SBab(s)

NGC 1073 Type SBc(sr)

NGC 1300 Type SBb(s)

NGC 2525 Type SBc(s)

شكل (٧) أصناف مختلفة من المجرات SBO و SB وتعتمد الأصناف O و S على ما إذا كان للمجرة حلقة مركزية أم لا ؟

ويلخص جدول (٢) خصائص المجرات من الأصناف المختلفة .

جدول [٢] الخصائص العامة للمجرات

الخاصية	اللولبيات	غير المنتظمة	أقزام إهليلجية	عمالقة إهليلجية
القطر (سنة ضوئية)	٩٠×١٠^{٣}	٢٠×١٠^{٣}	٣٠×١٠^{٣}	١٥٠×١٠^{٣}
الكتلة (الشمس = ١)	$١٠^{١١}$	$١٠^{٦}$	$١٠^{٥} - ١٠^{٧}$	$١٠^{١٣}$
النورانية (الشمس = ١)	$١٠^{١١}$	$١٠^{٩}$	$١٠^{٨}$	$١٠^{١١}$
اللون	فروق (القرص)،محمر(الهالة والنواة)	مزرقة	محمرة	محمرة
الغاز المتعادل (نسبة من الكتلة)	٥ ٪	١٥ ٪	أقل من ١ ٪	أقل من ١ ٪
أصناف النجوم	شابة (القرص) مسنة (الهالة والنواة)	شابة	مسنة	مسنة

١٠-٣ كتل المجرات :

تعين توزيع الكتل فى مجرات هام لكل من علم الكون ولنظريات نشأة وتطور المجرات ، وتعين الكتل عادة بالربط توزيع الكتل وتوزيع الإضاءة، وكذلك بطرق غير مباشرة بدراسة التحركات التى تدفعها المجرة . وتعطى النتائج عادة بدلالة شبه الكتلة إلى النورانية M / L باستخدام كتلة الشمس ونورانيتها كوحدة ، وفى جوار الشمس فى الطريق اللبنى قدرت النسبة المذكورة بالقيمة $M / L = 3$. وتوجد طرق عديدة لتعيين الكتل تختلف تبعا لصنف المجرة ، لكن هنا ليس مجال ذكرها .

١٠ - ٤ النظم المجرية :

تكوّن المجرات نظما تبدأ من مجرتين وتنتهى بالحشود الفائقة ، وكلما كان النظام كبيرا قلت فرصة زيادة كثافته عن الكثافة الكونية المتوسطة . وبصورة عامة تكون الكثافة ضعف كثافة الوسط المحيط إذا كان قطر النظام ١٠ ميجا بارسك بينما تكون الزيادة ١٠ ٪ فقط إذا كان القطر ٤٠ ميجا بارسك ، وكذلك تتأثر أشكال المجرات بقوى المد تبعا لطبيعة النظام الذى يضمها .

شكل (٨) حشد من المجرات يضم حوالى ١٥٠٠ مجرة

المجموعات : تتكون من عدد قليل من المجرات ، وهى النظم السائدة وأشهرها المجموعة المحلية التى تمتد فى الفضاء حوالى ٣ مليون سنة ضوئية وتقع مجرتنا بالقرب من أحد أطرافها بينما تقع M3 عند الطرف الآخر . والمجموعة المحلية تضم حوالى ٣٠ مجرة .

الحشود : يسمى النظام حشدا إذا زادت مجراته عن ٥٠ من المجرات اللامعة . ونصف القطر المميز حوالى ٢ - ٥ ميجا بارسك . وأقرب حشود المجرات لنا حشد العذراء ويبعد حوالى ١٥ ميجا بارسك وهو حشد غير منتظم ، أما أقرب حشد منتظم فهو حشد الذؤابة (Coma) ويبعد حوالى ٩٠ ميجا بارسك .

وتنطلق أشعة X من حشود المجرات الناتجة من غاز ساخن فيما بين المجرات، وتقدر درجة حرارة هذا الغاز فى الحشود غير المنتظمة بحوالى $١٠^{٧}$ k بينما تبلغ حوالى $١٠^{٨}$ k فى الحشود المنتظمة ، ويوضح شكل (٨) أحد حشود المجرات الكبيرة .

الحشود الفائقة : تتكون من مجموعات وحشود مجرات تجمعت لتكون نظاما أكبر . مثال ذلك الحشد الفائق المحلى الذى تمثل المجموعة المحلية أحد أعضائه ، ويقع مركز هذا الحشد الفائق فى حشد السنبلة ، كذلك يمثل حشد الذؤابة عضوا فى حشد فائق . وأقطار الحشود الفائقة ١٠ - ٢٠ ميجا بارسك .

١٠-٥ أبعاد المجرات :

من أصعب المشاكل مشكلة تعيين أبعاد الأجرام السماوية ، وتزداد الصعوبة بازدياد بعد الجسم المراد تعيين بعده . وبصفة عامة تستخدم طرق تعتمد على الآتى :

(i) المتغيرات القبفاوية ، وقد استخدمت لتعيين أبعاد ٣٠ ٪ من المجرات القريبة .

(ii) داخل المجموعة المحلية يمكن استخدام نفس طرق إيجاد المسافة داخل الطريق اللبنى وأهمها استخدام النجوم المتغيرة .

(iii) على المسافات الكبيرة جدا (أكبر من ٥٠ مليون بارسك) يمكن تعيين المسافة باستخدام طرق تعتمد على تمدد الكون.

(iv) بين هذين الحدين تستخدم طرق تعتمد على بعض الخصائص التى يمكن قياسها وترتبط بالقدر المطلق .



(٧) من أهم الطرق خاصية خط الهيـدروجين ٢١سم الذى يرتبط عرضه مع القدر المطلق للمجرات اللولبية وهى ما تسمى علاقة «تولى - فيش».

(vi) يستخدم فى تعيين أبعاد الحشود أبعاد المجرات المكونة لها .

١٠-٦ المجرات النشطة وأشباه النجوم :

يظهر نشاط المجرات غير الطبيعى فى صور مختلفة ، فبعض المجرات لها أنوية لامعة بدرجة غير طبيعية ، وفى مجرات أخرى يكون عرض الخطوط الطيفية أكبر من المـعتاد ، بينما تبدى بعـض المجرات مظاهر تشبه الـقذف النفاث ، أو تشع طيفـا غير حرارى يشبه إشـعاع السينكروترون الذى يصـدر عن الإلكترونات المتسارعة فى مجال مغناطيسى .

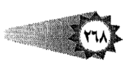
وقد تكون نورانية المجرات النشطة كبيرة للغاية بدرجة توضح أنها لا يمكن أن تشـع طويلا بهـذا المـعدل ، وهذا يـوحى أنهـا ليـست أنمـاطا جديـدة من المجرات، بل تمثل مراحل فى تطور المجرات المعروفة .

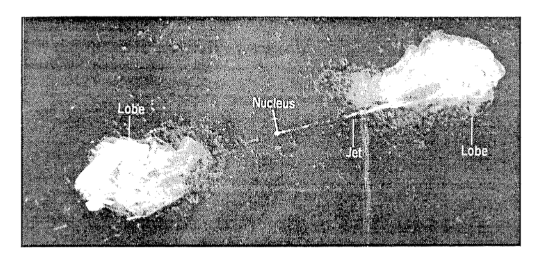
ويوجد نوعان أساسيان من المجرات الـنشطة : مجرات سيفرت والمجرات الراديوية . والأولى لولبيات بينما الأخيرة مجـرات إهليلجية ؛ لذلك يعتقد بعض الفلكيين أنهما يمثلان المراحل النشطة للأصناف التى يشبهانها.

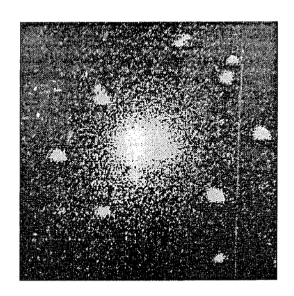
مجرات سيفرت (Seyfert) : نوع من المجـرات نواتها شديدة اللـمعان وتحتـوى أطيافهـا على خطوط انبـعاث قوية . ومـعظم هذه المجـرات لولبى . وتتحرك سحب الغاز فى هذه المجرات بسرعـات عالية جدا حيث تعجلها مصادر طاقة قوية فى النواة ، وهذه المصادر مجهولة المصدر . وكثير من هذه المجرات تشع موجات راديوية وبعضها يصدر أشعة X . وهذه المجرات تمثل حوالى ١ ٪ من جميع المجرات ومنها M 77 (NGC 1088) وهى من ألمع هذه المجرات وهى كذلك مصدر إشعاع راديوى .

المـجرات الراديـوية : هى مـجرات تبـعث بالإشـعاع الـراديوى وإشعـاع السنكروتـرون بقدر أكبر مـن المعتاد . وهـذه المجرات عادة مـجرات إهليلجـية عملاقة ، ومثالها M 87 فى كوكبة السنبلة (العذراء) .

وشكل (٩) يوضح أحد المجرات الراديوية .









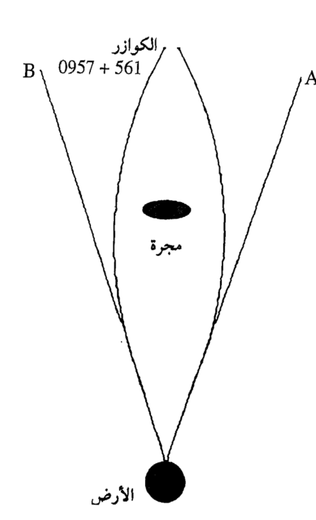
شكل (٩) بعض المجرات الراديوية

أشباه النجوم (Quasars) : اكتشفت لأول مرة سنة ١٩٣٦ وكان يظن أنها نجوم زرقاء أو نوفا ، وسرعات هذه النجوم عالية بدرجة غير معتادة ، وقد اكتشف منها أكثر من ١٥٠ ، ويعتقد الآن أنها مجرات حديثة التكوين . وأهم خواص هذه المجرات هى :

- سرعات تباعد تقارب سرعة الضوء .
- قوة إشعاع عالية جدا راديوية وأشعة سينية .
- زرقاء اللون .
- يتغير لمعانها كما لو كانت مجرات متغيرة .
- يبدى طيفها خطوط انبعاث عريضة وأخرى رفيعة.

١٠-٧ العدسات التثاقلية :

من الظواهر الجديرة بالاهتمام ظاهرة العدسات التثاقلية ، حيث إن الضوء ينثنى بتأثير المجالات التثاقلية الشديدة فإن الضوء الصادر من الكوازر ينثنى بمروره بإحدى المجالات التثاقلية الشديدة فيبدو كما لو كان هناك جسمان A،B وليس جسما واحدا . وقد اكتشفت الظاهرة عمليا سنة ١٩٧٩ عندما اكتشف جسمان من أشباه النجوم يفصل بينهما ٥,٧ ثانية قوسية ، ثم تبين تماثل طيفى الجسمين وتبين أن الجسمين ما هما إلا صورتان لنفس الجسم ، ثم اكتشفت بعد ذلك أشباه نجوم عديدة أخرى .



شكل (١٠) رسم توضيحى يوضح عمل المجرات كعدسات تثاقلية

الفصل الحادى عشر

قصة الكون

منذ حوالى ٢٠ مليون سنة انفجرت القنبلة الكونية ، كانت نواتها نارا لا تزيد عن حجم كرة القدم . وكان نتاج هذا الانفجار هو ما نرى الآن فيما حولنا من مادة أو طاقة ووجود ، بعيدة عنا وقريبة . وفى هذا الفصل نهدف إلى سرد طرف من قصة الكون بإيجاز شديد . ودراسة الكون تهدف لقراءة ماضيه والبحث عن حاضره واستقراء مستقبله ، وفى هذا لا تغنى دراسة جزء من الكون لنعرف منها كل الكون، كما لا يوجد كون آخر نستعين به فهو كون واحد ووجود واحد.

١١ - ١ الفروض والأرصاد الكونية :

متناقضة أولبرز :

تتصل بمشكلة أثارها يوهان كبلر سنة ١٦١٠ ، وهى أنه إذا كان الكون لا نهائيا تبعا لمفاهيم كوبرنيك ، والنجوم موزعة فيه بانتظام فلن يكون هناك إظلام أثناء الليل ، ذلك أننا إذا نظرنا فى أى اتجاه سيقع على خط الرؤية سطح أحد النجوم، وحيث إن اللمعان السطحى لا يعتمد على المسافة فتبدو كل نقاط السطح فى مثل إضاءة سطح الشمس ، وقد فسر هذا بأن الكون محدود وليس لا نهائيا. هذه النتيجة غير صحيحة لأنه لو كان عمر الكون هو المحدود فإن ضوء النجوم البعيدة يكون ما زال فى طريقه إلينا ولم يصلنا بعد ، وبذلك بدلا من أن يقصد أولبرز لإثبات محدودية الكون يمكن أن تكون النتيجة محدودية عمر الكون .

فضاء ما بعد المجرة :

اكتشف « هبل » سنة ١٩٢٣ أن مجرة M31 تقع خارج مجرتنا وأن هناك تركيبا مجريا واسعا أبعد من الطريق اللبنى ؛ لذا تركز الاهتمام على دراسة ما إذا كان توزيع المجسمات بعيدا فى الكون مماثل للمنطقة القريبة منا وهذا التماثل يسرى على المادة والارتفاع ، وكانت النتيجة أن توزيع المجرات لا يعتمد على موقع المنطقة التى تتم دراستها ولا على اتجاهها ، معنى هذا أن الكون متجانس ومتماثل . كما وجدت أدلة على تمدد الكون .

قانون هبل :

فى أواخر العشرينيات اكتشف هبل أن طيف المجرات ينزاح للناحية الحمراء بقدر يتناسب مع بعدها ، أى أن الإزاحة

$$Z = H\,r \qquad (1)$$

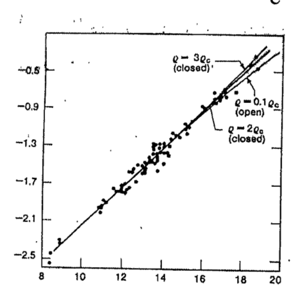
حيث r المسافة و H ثابت سمى ثابت هبل ولكن

$$Z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \qquad (2)$$

حيث c سرعة الضوء و v سرعة تباعد (أو تقارب) النجم (شكل ١ و ٢).

$$v = \frac{H}{c}\,r \qquad (3)$$

وتتراوح تقديرات قيم ثابت هبل بين ٥٠ إلى ١٠٠ كم / ث / مليون سنة ضوئية ، ويوضح شكل (١١) العلاقة الخطية بين الإزاحة الحمراء والقدرالظاهرى لبعض المجرات .



شكل (١١) العلاقة بين القدر والإزاحة لألمع المجرات فى الحشود (قانون هبل)

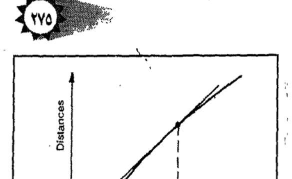
عمر الكون وتمدده :

يمكن تقدير عمر الكون بغض النظر عن أى نموذج كونى باستخدام نتائج الأرصاد مباشرة . فالكون أقدم من أى من مكوناته ، وعمر أقدم الحشود النجمية فى الطريق اللبنى ١٠ - ١٥ ألف مليون سنة ، وهذا يعطى الحد الأدنى لعمر الكون.

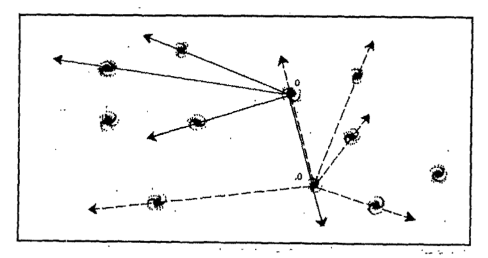
كما يمكن تقدير العمر باستخدام ثابت هبل. إذا كان الكون قد يتمدد (وهو ما تأكد من الإزاحات الحمراء للمجرات) فإن المجرات كانت فى الماضى أقرب لبعضها البعض . فلو كان معدل التغير ثابتا فإن معكوس ثابت هبل $H^{-1} = T$ يمثل عمر الكون . ولكن يعتقد أن التمدد آخذ فى التباطؤ لذلك يعطى معكوس ثابت هبل حدا أقصى لعمر الكون (شكل ١٢) . وتبعا للتقديرات الحالية 50

كم . ث$^{-1}$. ميجا بارسك$^{-1}$ 100 > H > كم . ث$^{-1}$. ميجا بارسك$^{-1}$ يكون عمر الكون ١٠ آلاف مليون سنة < T < ٢٠ ألف مليون سنة .

ويلاحظ التوافق الكبير بين التقديرين . ويجب أن نعى أن تمدد الكون لا يعنى أننا فى مركزه، فكل مجرة تبتعد عن الأخرى بسرعة تتناسب مع البعد بينهما، يسرى هذا علينا وعلى جميع المجرات الأخرى (شكل ١٣) .



شكل (١٣) لا يعنى التمدد المنتظم تبعا لقانون هبل أن الطريق اللبنى Θ هو مركز الكون فكل المجرات الأخرى سوف ترى نفس النمط من التمدد



شكل (١٣) لا يعنى التمدد المنتظم تبعا لقانون هبل أن الطريق اللبنى Θ هو مركز الكون فكل المجرات الأخرى سوف ترى نفس النمط من التمدد

إشعاع الميكروويف الحرارى للخلفية الكونية :

يمثل اكتشاف هذا الإشعاع أهم الاكتشافات الكونية منذ قانون هبل ، اكتشف «أرنو بنزياس» و «روبرت ويلسون» فى سنة ١٩٦٥ أن هناك إشعاعا شاملا فى منطقة الميكروويف طيفه يناظر طيف الجسم الأسود عند درجة حرارة ٣ k . وقد حصلا على جائزة نوبل لهذا الكشف .

وكان « جورج جامو » قد تنبأ بوجود هذا الإشعاع فى أواخر الأربعينيات وتبعا لجامو كان الكون عند بدء خلقه مملوءا بإشعاع شديد السخونة ، ولما أخذ فى التمدد بدأ الإشعاع يبرد للدرجة المتوقعة حاليا وهى قليل من الدرجات المطلقة .

بعد كشف « بنزياس » و « ويلسون » جرت دراسة هذا الإشعاع فى المنطقة من ٥,٠سم و ٥٠سم ، وأحدث الدراسات من قمر « كوبى : مستكشف الخلفية الكونية (Cosmic Background explorer) » توضح أن هذا الإشعاع يناظر إشعاع الجسم الأسود عند درجة الحرارة ٢,٧٣ – ٠,٠٦ k .

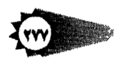
ويعنى وجود هذا الإشعاع دعما شديدا لاعتقاد أن الكون كان فى بدء خلقه شديد السخونة . وإشعاع الخلفية الكونية متماثل لدرجة كبيرة ، وهذا يدعم بالتالى فكرة أن الكون متجانس ومتماثل . وقد اكتشف كوبى كذلك تغيرات فى درجة الحرارة بسعة ٦ × ١٠$^{-٦}$ فى الخلفية . وهذه لا يمكن أن تعزى لإزاحات حمراء تثاقلية للخلفية تتسبب فيها تجمعات الكتلة التى يمكن فى المستقبل اكتشاف معلومات عن التركيبات الكونية .

١١ - ٢ المبدأ الكونى :

فى دراستنا للكون نضع فروضا أساسية لا تتناقض مع نتائج الأرصاد هذه الفروض هى :

(i) القوانين الفيزيائية قوانين عامة لا تختلف من موقع فى الكون لموقع آخر ، وهذا يعنى أن المجرات الأخرى تتكون من نفس العناصر وتجرى فيها نفس العمليات الفيزيائية وإن اختلفت فقط تبعا للظروف السائدة . ولو اختلفت تلك القوانين ، لكنا فى دراستنا كمن يواجه شبحا لا يرى ولا يسمع ولا يمكن إدراك وجوده بأى وسيلة .

(ii) الكون متجانس أى أن المادة والطاقة موزعة توزيعا منتظما فى كل أرجاء الكون .



(iii) الكون متماثل ، أى أن للكون نفس الخواص فى جميع الاتجاهات .

هذه الفروض تمثل ما يسمى بالمبدأ الكونى وهى تعنى أن الكون ليس له مركز محدود ، ولا يمكن التفريق بين موقعين أو اتجاهين فيه بمجرد إجراء تجربة . ويمكن تلخيص هذا المبدأ فى أن الكون منتظم .

١١-٣ حاضر الكون ونشوؤه ومستقبله :

تهدف النماذج الكونية لاستنتاج صيغ رياضية وفيزيائية يمكن أن تستنتج حاضر الكون وتقرأ ماضيه وتتنبأ بمستقبله ، وهى تعتمد على استخدام ما نعرفه الآن عن الكون ، وهذا يمكن إيجازه فى :

(i) الكون يتطور فيتغير الكون كله مع الزمن كما تتغير مكوناته .

(ii) يتكون الكون من مادة متجمعة ، فالجسيمات الأولية تكون البروتونات والنيوترنات والإلكترونات ، وهذه تكون الذرات ، والذرات بدورها تكون المادة فى صورها المختلفة . ومن هذه المادة تتكون الكواكب والنجوم .... وهكذا .

(iii) الكون يتمدد ، ويعتمد معامل تمدده على متوسط قيم الكثافة العامة للمادة بناء عليها تتحدد هندسة الزمان حيث توجد ثلاثة احتمالات :

- فضاء مستو ، فيكون الكون مفتوحا وتنطبق عليه هندسة إقليدس فيكون لا نهائيا فى المكان ولا نهائيا فى الزمان .

- كروى ومغلق فيكون الكون متناه فى المكان لكنه غير محدود ويكون متناه فى الزمان .

- فراغ زائدى ، ومرة يكون الكون مفتوحا ولا نهائى فى كل من المكان والزمان ، إلا أنه منحن فى هذه الحالة .

ولم تستطع الأرصاد حتى الآن تزكية أى من هذه الهندسات الثلاث ، لكن إذا ثبت وجود مادة معتمة بقدر كاف فإن الكون يكون محدودا .

وتوجد للكثافة قيمة حرجة وهى تبعا للهندسات السابقة تؤدى فى مستقبل الكون لثلاثة احتمالات :



- إذا كان متوسط الكثافة أكبر من الكثافة الحرجة فإن التمدد سيتوقف، ويبدأ الكون فى الانكماش حتى يتهايل على نفسه فيما يسمى الانسحاق العظيم (Big crunch) .

- إذا كان متوسط الكثافة أقل من الكثافة الحرجة سيظل الكون فى تمدده وتنخفض درجة الحرارة بصورة شديدة فيما يسمى البرودة العظمى (Big Chill).

- إذا كان متوسط قيمة الكثافة مساويا للكثافة الحرجة فإن التمدد سيستمر لفترة ثم يتوقف لكنه لا يعود للانكماش .

وتقدر قيمة الكثافة الحرجة بما يساوى ٥ × ١٠^-٣٠ جم / سم٣ .

الانفجار العظيم (Big Bang) :

هو النموذج العيارى المبنى على النظرية العامة للنسبية ومعظم النماذج الكونية حاليا تدور فى إطاره ، وهذا النموذج يلقى قبولا شبه كامل من الفلكيين فى الوقت الحاضر .

فى البدء كانت مادة الكون مركزة فى كرة صغيرة قد لا يزيد حجمها عن قبضة اليد ، ثم حدث لهذه الكرة انفجار عظيم ليس كتلك الانفجارات التى نألفها على سطح الأرض والتى تبدأ من مركز محدد ثم تنتشر لتطبق على المزيد مما يحيط بها من الفضاء ، ولكنه انفجار حدث فى نفس اللحظة فى كل مكان مالئا الفراغ كله منذ البداية ، بينما يندفع كل جسيم متباعدا عن الآخر . وفى هذا الإطار فإن كلمة الفراغ قد تعنى كل الأرجاء لكون لا نهائي أو كل أرجاء كون محدود ينطوى على نفسه مثل سطح الكرة ، وكلا الاحتمالين صعب التصور لكن لا يعنينا فى شيء إن كان الفراغ فى الكون الباكر محدودا أو لا نهائيا .

قرب الجزء الأول من المائة الثانية الأولى كانت درجة حرارة الكون نحو ١٠٠ ألف مليون درجة مطلقة (١٠^١١) . وتلك الحرارة أعلى كثيرا من تلك عند مركز أشد النجوم سخونة ، فهى فى الحقيقة مرتفعة لدرجة تفقد مكونات المادة العادية من جزيئات أو ذرات أو حتى أنوية الذرات أى قدرة على التماسك، هذا فضلا عن احتواء المادة المندفعة فى هذا الانفجار على مختلف أنواع الجسيمات الأولية .

وباستمرار الانفجار انخفضت درجة الحرارة إلى ٣٠ ألف مليون درجة ببلوغ عشر الثانية الأولى ، ثم إلى عشرة آلاف مليون درجة بعد مضى حوالى ثانية ، أما بعد مضى حوالى ١٤ ثانية فقد كانت الحرارة حوالى ٣ آلاف مليون درجة مطلقة وتلك الأخيرة ملائمة لانحلال الإلكترونات والبوزيترونات بمعدل أسرع من معدل تخليقها من الفوتونات وجسيمات النيوترينو . فتعمل الطاقة المنبعثة من هذا التحلل على إبطاء معدل تبريد الكون ؛ إلا أن التمدد جعل درجة الحرارة تستمر فى الهبوط بالغة نحو ألف مليون درجة بعد نهاية الثلاث دقائق الأولى ، وهى درجة ملائمة كى تبدأ البروتونات والنيوترونات فى تكوين أنوية مركبة بحيث يتكون أولا الهيدروجين الثقيل (ديوتيريوم) الذى تحتوى نواته على بروتون ونيوترون . وعند هذه المرحلة كانت الكثافة ما زالت عالية (أقل قليلا من كثافة الماء) بدرجة تسمح لهذه الأنوية بالتجمع مكونة لنواة الهليوم ، أكثر الأنوية الخفيفة استقرارا والتى تتكون من بروتونين ونيوترونين .

وعند نهاية الدقائق الثلاث الأولى كانت معظم مكونات مادة الكون على صورة ضوء وجسيمات نيوترينو ونيوترينو مضاد ، أضف إلى ذلك كمية ضئيلة من المادة النووية تتكون من ٧٣ ٪ هيدروجين و ٢٧ ٪ هليوم مع كمية متساوية من الإلكترونات والبوزيترونات تخلفت عن حقبة انحلال تلك الجسيمات . وتستمر مادة الكون فى التدافع متباعدة عن بعضها البعض فتبرد وتقل كثافتها . وبعد بضع مئات من آلاف السنين يصبح الكون أبرد لدرجة تكفى لأن تتحد الإلكترونات بأنوية الذرات مكونة لذرات الهيدروجين الهليوم . وتحت تأثير التثاقل يتكون الغاز الناتج من تجمعات تبدأ فى التكاثف مكونة للمجرات والنجوم الموجودة حاليا فى الكون . وعلى ذلك فإن أول المكونات التى تبدأ بها النجوم هى المادة الخام التى تكونت أساسا خلال الدقائق القليلة الأولى من عمر الكون .

معجم المصطلحات التى وردت بالكتاب

A

Aberration	زيغ
Absolute Magnitude	قدر مطلق
Absorption Spectrum	طيف امتصاص
Altitude	ارتفاع
Angular Momentum	زخم زاوى
Annular Eclipse	كسوف حلقى (للشمس)
Anomalisic Month	شهر شاذ (أو حضيضى)
Anomalisic Year	سنة شاذة (أو حضيضية)
Antarctic Circle	الدائرة القطبية الجنوبية
Antimatter	ضديد المادة
Apastron	أوج نجمى
Apex	مستقر
Aphelion	أوج شمسى
Apogee	أوج أرضى
Apolune	أوج قمرى
Apparent Solar Day	يوم شمسى ظاهرى
Apparent Solar Time	توقيت شمسى ظاهرى
Apse (rapsis, pl. Apsides)	نقطة الرأس
Ascending Mode	العقدة الصاعدة
Aspect	هيأة



Association	حشد ائتلافى
Asteroid	كويكب
Astrology	تنجيم
Astrometry	استرومترى (علم القياسات الفلكية)
Astronautics	الملاحة الفضائية
Astronomical Unit (AU)	وحدة فلكية
Astronomy	علم الفلك
Astrophysics	الفيزياء الفلكية
Aurora	الفجر (أو الوهج) القطبى (أنوار الشمال)
Autumnal Equinox	نقطة الاعتدال الخريفى
Azimuth	زاوية السمت

B

Barycenter	مركز كتلة جسمين يتحركان حول بعضهما
Big Bang	الانفجار العظيم (أو الهيولى)
Big Chill	البرودة العظمى
Big Crunch	الانسحاق العظيم
Binary Stars	نجوم مزدوجة
Blach Dwarf	قزم أسود
Blach Hole	ثقب أسود
Bolometric Magnitude	قدر حرارى (أو بولومترى)
Brightness	لمعان

C

Calender	تقويم ..
Cardinal Points	نقاط الاتجاهات الأصلية (الأربع)
Celestial Equatory	الاستواء السماوى
Celestial Mechanics	الميكانيكا السماوية
Celestial Nevigation	الملاحة السماوية
Celestial Pole	الأقطاب السماوية (الشمالى والجنوبى)
Celestial Sphere	الكرة السماوية
Centri fugal Force	القوة الطاردة المركزية
Cepheid Variables	القوة الجاذبة المركزية
Ceres	المتغيرات القيفاوية
Chromosphe	أكبر الكويكبات
Circumpolarstars	الكرة الملونة (طبقة فى جو الشمس)
Duster of Galaxies	النجوم الخسان
Color Excess	حشد مجرى
Color Index	الزيادة العددية
Comet	الدليل اللونى
Commensurability	مذنب
Configuration	تناسب
Conic Section	نسق
Conjunction	قطاع مخروطى
Corona	اقتران
	الإكليل (أو الهالة)

Cosmic	كونى
Cosmogony	علم الأصول
Cosmology	علم الكون
Crater	فوهة (حفرة)
Crescent Moon	الهلال

D

Declination	الميل
Descending Node	العقدة الهابطة
Differential Rotation	دوران تفاضلى
Diurnal	يومى
Draconic Month	شهر عقدى

E

Eccentric	اختلافى
Eclipse	خسوف أو كسوف
Eclipsing Binary	مزدوج كسوفى
Ecliptic	الدائرة الكسوفية
Elliptical Galaxy	مجرة إهليلجية
Elongation	استطالة
Ephemeris	زيج

Epicycle	فلك التدوير
Equlnox	إحدى نقطتى الاعتدال
Eruptive Variable	نجم متفجر
Event	حدث
Extinction	همود أو خمود

F

Facuh	كلف (شمسى)
Filaments	فتائل على الشمس
First Ponit of Aries	نقطة الاعتدال الربيعى
Flares	ومضات (شمسية)
Free - Free Transition	انتقال حر - حر
Full Moon	البدر
Fusion	اندماج (نووى)

G

Galactic Latitude	العرض المجرى
Galactic Longitude	الطول المجرى
Galaxy	مجرة
Gegenschein	الوهج المضاد
Geodsie	جيوديسى
Giant	عملاق (صنف من النجوم)

Gibbous Moon	المحاق
Globular Cluster	حشد كرى
Granules	حبيبات
Gravitation	تثاقل
Gravitation Lens	عدسة تثاقلية
Gravitational Redshit	الإزاحة الحمراء
Gravitational Waves	موجات التثاقل
Great Circle	دائرة عظمى
Greenhouse Effect	ظاهرة البيت الزجاجي

H

Halo	الهـالة (حول الشـمس أو القمـر أو هالة المجرة)
Heliacal Rising	شروق احتراقى
Helio	سابقة تعنى نسبة إلى الشمس
Horizon	الأفق
Hour Angle	زاوية الساعة

I

Inclination	زاوية الميل
Inertia	القصور الذاتى
Inferior Conjunction	اقتران سفلى

Inferior Planet	كوكب داخلى
International Date Line	خط الزمان الدولى
Interplanetary	بين الكواكب
Interstellar	بين النجوم

J

Jovian Planets	السيارات العظمى
Julian Date	الزمن الجوليانى
Jupiter	المشترى

K

Kirkwood's Gaps	فجوات كيركوود (فى توزيع الكويكبات)

L

Latitude	عرض
Leap Year	سنة كبيسة
Libration	نودان
Line of Apsides	خط الرأس
Line of Moods	خط العقدتين
Local Standerd of Rest	معيار السكون المحلى
Longitude	طول
Luminosity	نورانية (ضياء)

Lunar	قمرى

M

Magellanic Clouds	سحب ماجلان (مجرتان لامعتان)
Magnitude	قدر
Main Sequence	التتباع الرئيسى
Major Planet	أحد السيارات العظمى
Mars	المريخ
Mean Solar Day	يوم شمسى متوسط
Mean Solar Time	زمن شمسى متوسط
Mean Sun	الشمس المتوسطة
Mercury	عطارد
Meridian (the)	خط طول (دائرة الزوال)
Meteor	شهاب
Meteorite	نيزك
Meteoroids	شهابيات
Meteor Shower	رخات شهابية
Milky Way	(مجرة) الطريق اللبنى
Minor Planet	كويكب

N

Nadir	النظير

Neap Tide	الجزر المحاقى
Nebula	سديم
Nebtune	كوكب نبتون
New Moon	هلال
Node	عقدة
Nodical Month	شهر عقدى
Nodical (Eclipse) Year	سنة عقدية (أو كسوفية)
Nova	نوفا (نجم براق)
Nutation	ترنح

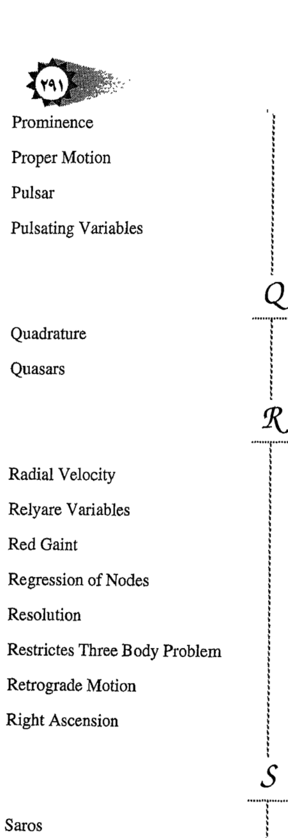
O

Oblate Spheroid	كرة منبعجة
Oblateness	انبعاج
Obliquity of the Ecliptic	ميل دائرة الكسوف
Occultation	استتار
Opacity	عتامة
Open Cluster	حشد مفتوح
Opposition	استقبال
Orbit	مدار

P

Parallax	اختلاف المنظر

بارسك (وحدة لقياس أبعاد النجوم = ٣,٢٦ سنة ضوئية)	Parsec
خسوف (أو كسوف) جزئى	Partial Eclipse
شبه الظل	Penumbra
نقطة الحضيض	Periapsis (Perifocus)
حضيض نجمى	Periastron
حضيض أرضى	Perigee
حضيض شمسى	Perihelion
حضيض قمرى	Perilune
إقلاق	Perturbation
أوجه القمر	Phases of the Moon
القدر الفوتوغرافى	Photographic Magnitude
القياسات الضوئية (فوتومترى)	Photometry
الكرة المضيئة (فى جو الشمس)	Photosphere
القدر البصرى الفوتوغرافى	Photovisual Magnitude
مشاعل الكروموسفير	Plage
كوكب	Planet
سديم كوكبى	Planetary Nebula
كوكب بلوتو	Pluto
استقطاب	Polarization
فصائل نجمية	Population I .....? II
مبادرة (الاعتدالين)	Precession (of the Equinoxes)



English	العربية
Prominence	الشواظ (ألسنة اللهب) الشمسية
Proper Motion	الحركة الذاتية
Pulsar	نجم نابض
Pulsating Variables	متغيرات نابضة

Q

English	العربية
Quadrature	تربيع
Quasars	أشباه النجوم

R

English	العربية
Radial Velocity	سرعة قطرية
Relyare Variables	متغيرات القيثارة (النسر الواقع)
Red Gaint	عملاق أحمر (صنف من النجوم)
Regression of Nodes	تقهقر العقدتين
Resolution	تفريق
Restrictes Three Body Problem	مسألة الأجسام الثلاثة المحدودة
Retrograde Motion	حركة تراجعية (تجاه الغرب)
Right Ascension	الطالع المستقيم

S

English	العربية
Saros	فترة تكرار الكسوف والخسوف
Satellite	قمر



Saturn	كوكب زحل
Secular	قرنى
Semi Major Axis	النصف القطر الأعظم
Sidereal	نجمى
Sidereal Time	الزمن النجمى
Small Circle	دائرة صغرى
Solar Activity	النشاط الشمسى
Solar Wind	الرياح الشمسية
Solstice	نقطة انقلاب
Space Probe	مجس الفضاء
Space Time	الزمن الفضاء
Spectral Class	صنف طيفى
Spectroscopic Binary Stars	مزدوجات نجوم طيفية
Soicules	سنيبلات (شمسية)
Spiral Arms	أذرع لولبية
Spiral Galaxy	مجرة لولبية
Spring Tide	مد ربيعى
Standrd Time	الزمن القياسى(توقيت المنطقة الأساسى)
Star	نجم
Star Cluster	حشد نجمى
Statistical Parallax	اختلاف المنظر الإحصائى
Stellar Evlution	تطور النجوم

Summer Solstice	الانقلاب الصيفى
Sundial	المزولة
Sunspot	بقعة شمسية
Super Gaint	عملاق فائق
Superior Conjnction	اقتران علوى
Superior Planet	كوكب خارجى (علوى)
Super Nova	نجم سوبر نوفا (فوق براق)
Synodic	اقترانى

T

Temperatur (Absolute or Kelvin)	درجة الحرارة المطلقة
Temperatur (Celesius or Contigrade)	درجة الحرارة (سلييوس) أو المئوية
Temperatur (Color)	درجة الحرارة اللونية
Temperatur (Effective)	درجة الحرارة التأثيرية
Temperatur (Excitation)	درجة حرارة الاستثارة
Temperatur (Ionization)	درجة حرارة التأين
(Kinetic)	درجة الحرارة الحركية
Temperatur (Rdiation)	درجة الحرارة الإشعاعية
Terrestrial Planet	كوكب أرضى (شبيه بالأرض)
Termosphere	الكرة الحرارية
Tidal Force	قوة المد
Tides	المد والجزر

Total Eclipse	خسوف (كسوف) كلى
Transit (Culmination)	عبور
Tropic of Cancer	مدار السرطان (٢٣,٥ ش)
Tropic of Capricorn	مدار الجدى (٢٣,٥ ج)
Tropical Year	سنة استوائية

U

Umbra	منطقة الظل
Universal Time	التوقيت العالمى
Universe	الكون
Uranus	كوكب يورانوس

V

Van Allen Layer (belt)	طبقة (أحزمة) فان ألن المشعة
Variable Star	نجم متغير
Venus	الزهرة
Vernal Equinox	الاعتدال الربيعى
Vertical Circle	دائرة رأسية

W

White Dwarf	قزم أبيض (صنف من النجوم)
Winter Solstice	الانقلاب الشتوى

X

X - axis	المحور السينى

Y

Year	سنة

Z

Zenith	السمت
Zenith Distance	البعد السمتى
Zodiac	منطقة البروج
Zodiacal Light	الضوء البروجى
Zone Time	زمن المنطقة

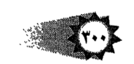
الكشاف

- أ -

- ب -

- ت -


٢٩٩


٣٠٠

- ك -

- ل -

- م -

قائمة المراجع

أ - مراجع باللغة العربية :

١ - قصـة الكون من السديم إلـى الإنسان (أ. د. جمـال الفندى) . دار الشعب ١٩٥٦ .

٢ - التقاويم (محمد فياض) . نهضة مصر ١٩٥٨ .

٣ - الطبيـعة الجوية (د. جـمال الفندى) . مؤسسـة التأليف والتـرجمة والنشر ١٩٤٦ .

٤ - أعمالنا فى الفضاء (ترجمة د. إمام إبراهيم) . دار الكرنك ١٩٦٦ .

٥ - علم الفلك (د. محمد رضا بدور) . جامعة القاهرة ١٩٧٠ .

٦ - علم الـفلك - تاريـخه عنـد العرب فى الـقرون الوسـطى (السنـيور كرنولينو). الدار العربية للكتاب ١٩٩٣ .

ب - مراجع باللغة الإنجليزية :

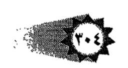
1 - Life on the Other Worlds . (Spencer Jones) .

2 - Mysteries of the Solar System . (Lytheton) , Clarendon, 1968 .

3 - Exploration of the Universe . (Abell), Rinehart and Winston, 1975 .

4 - Black Holes and New Physics . (Wheeler), Discovery 7, 4, 1982 .

5 - Comets and There Origin . (Chapman and Brandt), Mercury : Jan. - Feb. 3, 1985 .



6 - General Streaming of Galaxies seen out to 100 MPC (Anderson), Physics Today : Nov. 1986 . p. 17 - 19 .

7 - Particle Physics and Inflationary Cosmology (Linde), Physics Today Sept. 1987. p.p. 61 - 63 .

8 - Planet X- The Current Status (Seidelmann and Harrington), Celest. Mech. 43, ss, 1988 .

9 - The New Solar System (Beaty etal.), Cambridge, 1992 .

10 - Orbital Stability of Gaint Comet - Like Objects (Nakamura and Yoshikawa), Celest. Mech. 113, 1993 .

11 - Astronomy, The Evolving Universe (Zeilik), Wiley 1994 .

12 - Review of the Dynamics in the Kirkwood Gaps (Moons), Celest. Mech. 65, 1997 .

هذه السلسلة

لقد أضحى أمر تعريب العلم والتعليم ضرورة من ضرورات النهضة العلمية والتقنية التى تنشدها أمتنا العربية الإسلامية لكى تستأنف مسيرتها الحضارية بلغة القرآن الكريم الذى حفظها قوية حية فى النفوس على الرغم من الوهن الذى أصاب أهلها.

ودار الفكر العربى من جانبها - قد استشعرت خطورة تأخير هذا المشروع الحضارى الكبير، فسعت جاهدة إلى تحقيق الهدف النبيل، وشرعت فى إعداد "سلسلة مراجع العلوم الأساسية" فى مجالات الكيمياء والفيزياء والرياضيات والفلك والأرصاد الجوية والجيولوجيا وعلوم الحياة، بحيث تخاطب قارئ العلوم بصورة عامة، وطلاب المرحلتين الثانوية والجامعية على وجه الخصوص.

وقد عهدت دار الفكر العربى بالمسئولية العلمية إلى هيئة استشارية تتولى التخطيط لإصدار هذه السلسلة، واستكتاب أهل الخبرة والاختصاص من علماء الأمة ومفكريها، ومناقشة الأعمال المقدمة قبل صدورها.

هذا الكتاب

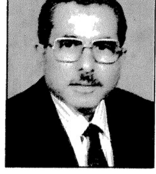
كتابنا هذا كتاب إيمان بقدر كونه كتاب علم، نقدمه كتاب علم يثرى مكتبتنا العربية التى تخلو، أو تكاد، من كتاب فى علم الفلك يستطيع قراء العربية الرجوع إليه. وقد راعينا فيه أن يشتمل على أكبر قدر من المعرفة الفلكية المسايرة لأحداث التطورات بصورة ميسرة دون إخلال بالدقة المطلوبة فى كتاب علمى، وهو بهذا يفيد المتخصص فيغطى ما يحتاجه دارسو الفلك فى المرحلة قبل الجامعية وكذلك فى المرحلة الجامعية الأولى، ومع هذا لا تستعصى قراءته على هواة الفلك الحريصين على الدقة والتمحيص.

أما كون هذا الكتاب كتاب إيمان فهذا ما يحسه القارئ حين يستشعر قدر انضباط الكون وتناسقه ووحدانية ما يحكم من قوانين وضعها له الخالق سبحانه وتعالى.



أ. د. ميرفت السيد عوض

- أستاذ ديناميكا الفضاء بقسم الفلك - كلية العلوم جامعة القاهرة.
- عضو الجمعية الأمريكية لتقدم العلوم.
- عضو أكاديمية نيويورك للعلوم.
- عضو الاتحاد الدولى الفلكى.
- عضو الجمعية المصرية للعلوم الفلكية وجمعية العلوم الرياضية والفيزيائية.
- عضو اللجنة القومية الفلكية.
- أشرفت على العديد من رسائل الماجستير والدكتوراه فى علوم الفضاء والفلك فى كثير من الجامعات المصرية وبعض الجامعات الغربية ونشرت العديد من البحوث فى تلك المجالات.



د . مصطفى كمال محمود

- أستاذ مساعد بقسم الفلك كلية العلوم - جامعة القاهرة
- عضو جمعية الرياضيات الأمريكية
- عضو جمعية لندن للرياضيات
- عضو الاتحاد الدولى الفلكى.
- عضو الجمعية الفلكية المصرية وجمعية العلوم الرياضية والفيزيائية.
- عضو اللجنة القومية الفلكية
- أشرف على العديد من رسائل الماجستير والدكتوراه فى علوم الفضاء والفلك ونشر العديد من البحوث فى تلك المجالات.